TOPH

ALBERT EINSTEIN s-a născut la Ulm în Germania, la 14 martie 1879. A studiat matematică și fizică la Școala Politehnică Federală din Zürich între 1896 și 1900. În anii 1902–1908 a lucrat ca expert la Oficiul Federal de Patente din Berna și a publicat lucrări ce au atras atenția lumii științifice, printre care prima lucrare despre teoria specială a relativității în 1905. În anii 1908–1914 a fost profesor de fizică teoretică la universitățile din Berna, Zürich și Praga. În 1913 este ales membru al Academiei Prusiene de Științe și numit director al Institutului de Fizică al Societății „Împăratul Wilhelm" din Berlin, funcție pe care o păstrează pînă în 1933. După publicarea teoriei generale a relativității în anii primului război mondial și confirmarea uneia dintre predicțiile ei de către expediția astronomică a Societății Regale de Științe din Londra (1919), devine cel mai cunoscut om de știință al vremii sale. O dată cu instaurarea regimului național-socialist, Einstein își dă demisia din Academia Prusiană de Științe și părăsește definitiv Germania, stabilindu-se la Princeton, în Statele Unite ale Americii. În ultima parte a vieții, Einstein este recunoscut nu numai drept cea mai mare autoritate din fizica teoretică, ci și ca un mare umanist care încorporează în mod exemplar prin acțiunea lui socială și culturală, prin luările sale de poziție în problemele vieții publice spiritul libertății, al justiției sociale, respectul pentru demnitatea ființei umane. Moare la 18 aprilie 1955, la 76 de ani.

Scrierile de interes general ale lui Einstein sînt reunite în două volume: *Mein Weltbild* (1931) și *Out of my Later Years* (1950). În 1917, Einstein publică prima expunere a teoriei speciale și generale a relativității „pe înțelesul tuturor".

ALBERT EINSTEIN

CUM VĂD EU LUMEA

Teoria relativității pe înțelesul tuturor

Ediția a II-a

HUMANITAS
BUCUREȘTI

Coperta colecției
DONE STAN

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale
EINSTEIN, ALBERT
Cum văd eu lumea; teoria relativității pe înțelesul tuturor / Albert Einstein; trad.: M. Flonta, I. Pârvu, D. Stoianovici. - București; Humanitas, 2000
p. xxx; cm. yyy
Tit. orig. (ger.): Wie ich die Welt sehe.
ISBN 973-50-0110-1

I. Flonta, Mircea (trad.)
II. Pârvu, I. (trad.)
III. Stoianovici, Drăgan (trad.)

530.12

© The Jewish National & University Library
The Hebrew University of Jerusalem

© HUMANITAS, 2000, pentru prezenta versiune românească

ISBN 973-50-0110-1

NOTA TRADUCĂTORILOR

Culegerea de față reunește texte de interes general scrise de Albert Einstein de-a lungul a patru decenii, începînd din 1914. Aceste scrieri cuprind expuneri ale ideilor sale științifice destinate unui public mai larg, gînduri asupra vieții și operei unor mari cercetători ai naturii; considerații asupra teoriilor fizice fundamentale și asupra direcției dezvoltării viitoare a cunoașterii fizice, precum și asupra naturii cunoașterii științifice și a cunoașterii umane în genere, reflecții asupra sensului existenței, asupra problemelor sociale și morale ale timpului și luări de poziție față de evoluții și evenimente din viața politică. Nu în puține texte se întretaie și se întrepătrund diferite teme din acest univers problematic asupra cărora Einstein a gîndit într-un mod personal întreaga sa viață. Ținînd seama de temele dominante, am grupat în mod oarecum convențional textele în trei mari secțiuni: 1. Cunoașterea naturii: principii și evoluție istorică; 2. Fundamentele fizicii teoretice: teoria relativității și mecanica cuantică; 3. Știință și înțelepciune: ce trebuie să facem și ce putem spera.

Cu o singură excepție (*Despre metoda fizicii teoretice*), aceste scrieri apar aici pentru prima dată în limba română. În cele mai multe cazuri traducerea a fost realizată după două culegeri, care adună cele mai reprezentative scrieri de interes general din două perioade distincte ale vieții autorului: *Mein Weltbild*, Querido Verlag, Amsterdam, 1934 și *Out of my Later Years*, Philosophical Library, New York, 1950. Pînă în 1933, cînd părăsește Europa,

Einstein publică, cu rare excepții, în limba germană. O dată cu strămutarea în Statele Unite multe din scrierile sale apar inițial în engleză. Totuși, Einstein rămîne un scriitor de limbă germană. Din relatările secretarei sale, H. Dukas, se știe că el și-ar fi scris, pînă la sfîrșitul vieții, toate lucrările în germană. Traducerea în engleză a fost realizată fie de alte persoane, fie de Einstein asistat de unul sau altul din colaboratorii săi. Einstein însuși se plîngea de calitatea nesatisfăcătoare a unora din traducerile engleze ale textelor sale. Ținînd seama de această împrejurare, am confruntat traducerea românească a textelor care au fost publicate pentru prima dată în engleză cu textele în limba germană cuprinse în culegerea *Aus meinen späten Jahren*, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1984.

Notele de subsol, puține la număr, din textul lui Einstein, sînt indicate prin asteriscuri și reproduse în josul paginilor. Notele destinate informării și orientării cititorului român sînt indicate prin cifre arabe și așezate la sfîrșitul fiecărui articol. Volumul de față include și o scurtă scriere de popularizare publicată de Einstein în 1917.

Iată o listă completă a textelor, cu indicarea titlului original și a locului primei ediții. (Majoritatea informațiilor își au sursa în *Bibliografia scrierilor lui Einstein, 1901–1955*, din *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, o lucrare a cărei primă ediție apare în 1949, sub redacția lui P. A. Schilpp, în seria *Biblioteca filozofilor în viață*.)

Antrittsrede in der Preussischen Akademie der Wissenschaften, „Sitzungsberichte“, 1914, pp. 739–742.

Ernst Mach, „Physikalische Zeitschrift“, vol. 17, 1916, pp. 101–104.

Prinzipien der Forschung, în vol. *Zu Max Planck 60. Geburtstag: Ansprachen in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, Müller, Karlsruhe, pp. 29–32.

My Theory, „Times“, Londra, 28 nov. 1919, p. 13, tradus după originalul german din *Mein Weltbild* apărut sub titlul *Was ist Relativitätstheorie?*

Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie — gemeinverständlich, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1920.

Geometrie und Erfahrung, Springer Verlag, Berlin, 1921.

Newtons Mechanik und ihr Einfluss auf die Gestaltung der theoretischen Physik, „Naturwissenschaften", vol. 15, 1927, pp. 273–276.

Johannes Kepler, „Frankfurter Zeitung", 9 nov. 1930, p. 16.

Religion und Wissenschaft, „Berliner Tageblatt", 11 nov. 1930.

Wie ich die Welt sehe, scris în 1930, publicat sub titlul *What I believe* în *Forum and Century*, vol. 84, Simon and Schuster, New York, 1931, pp. 193–194.

Maxwell's Influence on the Development of the Conception of Physical Reality, în vol. *James Clerk Maxwell: A Commemoration Volume*, Cambridge University Press, Cambridge, 1931, pp. 66–73, tradus după originalul german din *Mein Weltbild*.

Epilogue: A Socratic Dialogue, Interlocutors Einstein and Murphy, în M. Planck, *Where is Science Going*, Norton, New York, 1932, pp. 201–213.

Schreiben an die Preussische Akademie der Wissenschaften, 28. März 1933, în *Albert Einstein in Berlin 1913–1933*, Akademie Verlag, Berlin, 1979, Dokument Nr. 169.

Schreiben an die Preussische Akademie der Wissenschaften, 5. April 1933, Dokument Nr. 181, în același volum.

Schreiben an die Preussische Akademie der Wissenschaften, 12. April 1933, Dokument Nr. 186, în același volum.

On the Method of Theoretical Physics, Clarendon Press, Oxford, 1933.

Science and Civilization, cuvîntare ținută la Londra, publicată sub titlul *Civilization and Science*, „Times", 4 oct. 1933, p. 14.

Die Religiosität der Forschung, în *Mein Weltbild*, 1934.

Science and Society, „Science", Washington, Winter Issue, 1935–1936.

Physik und Realität, „Franklin Institute Journal“, vol. 221, 1936, pp. 313–347.

On Education, publicat sub titlul *Some Thoughts concerning Education*, în „School and Society“, vol. 44, 1936, pp. 589–592.

Selbstporträt, 1936, publicat în (ed.) C. Fadiman, *I Believe*, Simon & Schuster, New York, 1939.

The Fundaments of Theoretical Physics, „Science“, vol. 91, 1940, pp. 487–492.

On Freedom, publicat sub titlul *Freedom and Science*, în (ed.) R. N. Anshen, *Freedom: Its Meaning*, Harcourt Brace and Co., New York, 1940, pp. 381–383.

Science and Religion (I–II), partea întîi este textul unei cuvîntări ținute la seminarul teologic din Princeton (mai 1939), partea a doua apare în *Science, Philosophy and Religion; a Symposion*, New York, 1941.

The Common Language of Science, înregistrare radiofonică realizată și difuzată în 1941, publicată în „Advancement of Science“, vol. 2 (nr. 5), 1942, p. 109.

Remarks on Bertrand Russell's Theory of Knowledge, în (ed.) P. A. Schilpp, *The Philosophy of Bertrand Russell*, Northwestern University, Evanston, 1944, pp. 277–291.

Quantenmechanik und Wirklichkeit, „Dialectica“, vol. 2, 1948, pp. 230–234.

Autobiographisches, în (ed.) P. A. Schilpp, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Open Court, La Salle, Illinois, 1949.

Bemerkungen zu den in diesem Bande vereinigten Arbeiten, ediția germană a aceluiași volum sub titlul *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1955.

Why Socialism?, „Monthly Review“, New York, vol. 1, mai 1949, pp. 9–15.

The Laws of Science and the Laws of Ethics, în (ed.) Ph. Frank, *Relativity — A Richer Truth*, Beacon Press, Boston, 1950.

Einleitende Bemerkungen über Grundbegriffe, în Louis de Broglie. Physicien et penseur, A. Michel, Paris, 1953.

CUM VĂD EU LUMEA
O antologie

Selecția textelor
M. FLONTA, I. PÂRVU

Traducere
M. FLONTA, I. PÂRVU, D. STOIANOVICI

Note
M. FLONTA

Autoportret

Noi nu știm ce este esențial în propria existență personală, iar altuia nu trebuie să-i pese de asta. Ce știe un pește despre apa în care înoată întreaga lui viață?

Ceea ce a fost amar și dulce a venit din afară, ceea ce a fost greu dinăuntru, din străduința proprie. Am făcut, în principal, ceea ce propria mea natură m-a împins să fac. A fost penibil să primesc pentru aceasta atît de multă prețuire și dragoste. Și săgeți ale urii au fost țintite spre mine: ele nu m-au atins însă niciînd, deoarece aparțineau întru cîtva unei alte lumi și cu aceasta nu am nici o legătură.

Trăiesc într-o singurătate care este dureroasă în tinerețe, dar minunată în anii maturității.

I

CUNOAȘTEREA NATURII: PRINCIPII ȘI EVOLUȚIE ISTORICĂ

DISCURS DE RECEPȚIE LA ACADEMIA PRUSACĂ DE ȘTIINȚE

Mult stimați colegi,

Primiți mai întîi mulțumirile mele profunde pentru fapta dumneavoastră bună, cea mai mare binefacere de care se poate bucura un om ca mine. Invitîndu-mă în Academia dumneavoastră, mi-ați oferit posibilitatea să mă dedic cu totul cercetărilor științifice, eliberat de agitația și grijile unei profesiuni practice. Vă rog să rămîneți convinși de sentimentele mele de recunoștință și de sîrguința strădaniilor mele, chiar și atunci cînd roadele eforturilor mele vi se vor părea sărăcăcioase.

Îngăduiți-mi să adaug la toate acestea cîteva observații generale cu privire la locul pe care îl ocupă domeniul meu de activitate, fizica teoretică, în raport cu fizica experimentală. Un prieten matematician îmi spunea deunăzi jumătate în glumă, jumătate în serios: „Matematicianul știe desigur ceva, dar, fără îndoială, nu știe tocmai ceea ce i se cere în momentul respectiv." Exact la fel stau lucrurile cu fizicianul teoretician atunci cînd este solicitat de fizicianul experimentator. De unde vine această curioasă lipsă a capacității de adaptare?

Metoda teoreticianului implică faptul că el are nevoie de supoziții generale, numite *principii*, din care sînt deduse consecințe. Așadar, activitatea sa se divide în două părți. În primul rînd, el trebuie să caute aceste principii și, în al doilea rînd, să desfășoare consecințele ce decurg din principii. Pentru îndeplinirea celei de-a doua dintre sarcinile numite, el primește în școală un echipament potrivit. Dacă prima dintre sarcinile sale este deja îndeplinită

într-un anumit domeniu, adică pentru un complex de corelații, succesul nu-l va ocoli de cîte ori silința și rațiunea vor fi îndestulătoare. Prima dintre sarcinile numite, anume aceea de a căuta principiile ce urmează să servească drept bază a deducției, este cu totul de alt fel. Aici nu mai există o metodă ce poate fi învățată și aplicată sistematic, o metodă care conduce la țel. Cercetătorul trebuie mai degrabă să fure oarecum naturii acele principii generale ce pot fi stabilite în mod precis, în măsura în care el deslușește anumite trăsături generale în complexe mai mari de fapte ale experienței.

O dată ce această formulare a fost înfăptuită, începe dezvoltarea consecințelor care furnizează adesea corelații nebănuite, ce depășesc cu mult domeniul de fapte luat în considerare cînd au fost formulate principiile. Dar atîta timp cît principiile ce servesc drept bază a deducției nu au fost încă găsite, teoreticianului nu-i folosește faptul de experiență singular; el nu poate să facă nimic nici măcar cu regularități mai generale descoperite empiric. El trebuie mai degrabă să rămînă într-o stare de neputință în fața rezultatelor cercetării empirice pînă cînd ajunge în posesia principiilor care pot forma baza unor dezvoltări deductive.[1]

Aceasta este situația în care se află astăzi teoria în raport cu legile radiației termice și ale mișcării moleculare la temperaturi joase. Pînă acum vreo cincisprezece ani nu se punea încă la îndoială posibilitatea unei reprezentări corecte a însușirilor electrice, optice și termice ale corpurilor pe baza mecanicii galileo-newtoniene aplicate mișcărilor moleculare și a teoriei maxwelliene a cîmpului electromagnetic. Atunci Planck a arătat că, pentru formularea unei legi a radiației termice, care să fie în acord cu experiența, trebuie să ne folosim de o metodă de calcul a cărei incompatibilitate cu principiile mecanicii clasice a devenit tot mai clară. Cu această metodă de calcul, Planck a introdus așa-numita ipoteză a cuantelor în fizică, ce a cunoscut de atunci confirmări strălucite. Cu această ipoteză a cuantelor el a răsturnat

mecanica clasică pentru cazul în care mase destul de mici, cu viteze destul de mici, sînt mișcate cu accelerații destul de mari, astfel încît astăzi putem considera legile de mișcare formulate de Galilei și Newton drept valabile numai ca legi limită (*Grenzgesetze*).[2] Dar, în ciuda străduințelor pline de zel ale teoreticienilor, nu s-a izbutit pînă acum să se înlocuiască principiile mecanicii prin principii ce sînt în acord cu legea radiației termice a lui Planck, adică cu ipoteza cuantelor. Deși reducerea căldurii la mișcarea moleculară a fost dovedită în mod neîndoielnic, trebuie și astăzi să mărturisim că stăm în fața legilor fundamentale ale acestei mișcări într-un mod asemănător cu felul în care stăteau astronomii dinaintea lui Newton în fața mișcărilor planetelor.[3]

M-am referit la un complex de fapte pentru a căror tratare teoretică lipsesc principiile. Se poate însă tot așa de bine ca principii clar formulate să ducă la consecințe ce ies cu totul sau aproape cu totul din cadrul domeniului de fapte accesibil astăzi experienței noastre. În aceste cazuri se poate să fie necesară o muncă de cercetare empirică îndelungată pentru a afla dacă principiile teoriei corespund sau nu realității.[4] Teoria relativității ne oferă un asemenea caz.[5]

O analiză a conceptelor fundamentale de timp și spațiu ne-a arătat că enunțul constanței vitezei luminii în vid, ce rezultă din optica corpurilor în mișcare, nu ne constrînge cîtuși de puțin să acceptăm teoria unui eter luminos imobil. Mai degrabă se poate formula o teorie generală ce ține seama de împrejurarea că noi nu înregistrăm cîtuși de puțin mișcarea de translație a Pămîntului în experimentele realizate pe Pămînt. În acest caz aplicăm principiul relativității care sună astfel: forma legilor naturii nu se schimbă cînd se trece de la sistemul de coordonate inițial (recunoscut ca legitim) la unul nou, ce se află într-o mișcare de translație uniformă față de primul. Această teorie a primit confirmări empirice ce merită să fie amintite și a condus la o simplificare a descrierii teoretice a complexului de fapte care erau puse deja în relație.

Pe de altă parte, această teorie nu oferă din punct de vedere teoretic o satisfacție deplină, deoarece principiul relativității formulat mai înainte privilegiază mișcarea uniformă. Dacă este adevărat că nu sîntem îndreptățiți să acordăm mișcării *uniforme* o semnificație absolută din punct de vedere fizic, atunci se pune în mod firesc întrebarea dacă acest enunț nu ar trebui extins asupra mișcărilor neuniforme. S-a arătat că, dacă se pune la bază un principiu al relativității în acest sens extins, se ajunge la o extindere bine determinată a teoriei relativității. În felul acesta sîntem conduși la o teorie generală a gravitației care include dinamica. Deocamdată însă lipsește materialul faptic cu ajutorul căruia am putea verifica justețea introducerii acestui principiu de bază.

Am constatat că fizica inductivă pune întrebări celei deductive și cea deductivă celei inductive și că răspunsul la ele cere încordarea tuturor forțelor. Fie ca, prin muncă unită, să izbutim cît mai repede să înaintăm spre progrese definitive.

NOTE

1. În acest text este formulată clar, poate pentru prima dată, ideea de bază pe care se sprijină modelul ipotetic-deductiv al științei teoretice. Activitatea omului de știință teoretică cuprinde două părți principale: formularea principiilor teoriei și deducerea unor consecințe empirice din aceste principii. Prima dintre ele este caracterizată drept o activitate pur imaginativă: principiile teoretice sînt o creație liberă a închipuirii omului de știință. Valoarea și utilitatea lor poate fi determinată însă numai prin compararea consecințelor derivate din ele cu datele experienței. Deducerea consecințelor empirice din principiile teoretice este, spre deosebire de formularea principiilor, o activitate sistematică în care cercetătorul aplică metode ce pot fi învățate. Logicieni ai științei ca R. Carnap, C. G. Hempel sau K. R. Popper, care au elaborat modelul ipotetic-deductiv al structurii științei teoretice, se sprijină pe distincția formulată aici de Einstein. Activitatea omului de știință teoretică, afirmă Popper, are două părți: formularea teoriilor și supunerea lor controlului experienței. „O analiză logică a primei părți a acestei activități, inventarea teoriilor, nu mi se pare nici posibilă, nici necesară. Întrebarea cum

se întîmplă ca să-i vină cuiva o idee nouă — fie o temă muzicală, fie un conflict dramatic sau o teorie științifică — interesează psihologia empirică și nu logica cunoașterii." (K. R. Popper, *Logica cercetării*, Editura științifică și enciclopedică, 1981, p. 76.) Iată și exprimările foarte semnificative ale lui Carnap dintr-o lucrare bazată pe seminarul său de filozofie a științelor naturii de la Universitatea din Chicago, din 1946: „Cum putem să descoperim legi teoretice? Nu putem să spunem: «Vom aduna tot mai multe date și vom generaliza dincolo de legile empirice, pînă vom ajunge la legi teoretice.» Niciodată nu a fost găsită o lege teoretică pe o asemenea cale… o teorie trebuie să ia naștere pe o altă cale. Ea este formulată nu ca generalizare a faptelor, ci ca ipoteză. Ipoteza este apoi testată într-un fel care este într-o anumită privință analog cu testarea legilor empirice. Din ipoteză se derivă legi empirice, iar aceste legi empirice sînt la rîndul lor testate prin observații asupra faptelor." (R. Carnap, *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaft*, Nynphenburger Verlagshandlung, München, 1969, p. 230.)

2. Afirmația lui Einstein că ipoteza cuantelor „a răsturnat mecanica clasică" trebuie înțeleasă în sensul că, în acel domeniu de cercetare care a fost deschis prin studiile lui Planck asupra radiației termice, consecințele deduse din mecanica clasică nu pot fi puse de acord cu datele experienței. Cu alte cuvinte, descoperirea lui Planck a oferit indicații cu privire la limitele aplicării legilor mecanicii clasice. Aceste legi sînt numite „legi limită" în sensul că nu pot fi aplicate cu succes decît într-un domeniu limitat al experienței fizice.

3. Este interesant că Einstein subliniază aici necesitatea formulării unor noi legi ale mișcării pentru elementele constitutive de bază ale substanței materiale cunoscute în acea vreme. Deși depășise deja perioada cea mai fertilă a activității sale științifice, Einstein nu adoptă o atitudine propriu-zis conservatoare. Opoziția lui ireductibilă de mai tîrziu față de acceptarea a ceea ce numea „teoria statistică a cuantelor" pornea de la respingerea supoziției adoptate de interpretarea general acceptată, interpretarea școlii de la Copenhaga, și anume că teoria oferă o descriere completă a stărilor fizice reale. Einstein respingea această supoziție care era în contradicție cu idealul său științific. Nu era vorba așadar de *conservatorism* în sensul obișnuit al cuvîntului.

4. Formulări cum sînt „corespondența sau acordul cu realitatea a principiilor teoriei" și „acordul cu datele experienței al principiilor teoriei" sînt folosite adesea de fizician ca expresii echivalente. Acesta pare să fie cazul și în acest pasaj.

5. Ca și în alte texte scrise ulterior, Einstein descrie aici teoria restrînsă și generală a relativității drept extinderi ale principiului relativității din fizica clasică. Aceste extinderi au fost realizate prin eforturi teoretice inventive, creatoare, în care rolul hotărîtor îl joacă considerații de natură matematică. În *Despre metoda fizicii teoretice*,

un text scris peste aproximativ douăzeci de ani, Einstein se va exprima astfel în această privință: „Experiența ne poate sugera bineînțeles conceptele matematice necesare: dar acestea nu pot fi deduse din ea. Experiența rămîne, desigur, singurul criteriu al utilității unei construcții matematice pentru fizică. Principiul propriu-zis creator se află însă în matematică. Într-un anumit sens, consider așadar adevărat faptul că gîndirea pură poate să cuprindă realul, așa cum visau anticii.“

ERNST MACH

În aceste zile a plecat dintre noi *Ernst Mach*, un om cu o mare înrîurire asupra orientării epistemologice a cercetătorilor naturii din vremea noastră, un om cu o gîndire extrem de independentă. Era într-atît de stăpînit de plăcerea directă de a vedea și de a înțelege, de acel *amor dei intellectualis* al lui Spinoza, încît, pînă la o vîrstă înaintată, el a privit lumea cu ochi curioși de copil pentru a se bucura dezinteresat de înțelegerea corelațiilor.

Cum ajunge însă un cercetător al naturii cu adevărat înzestrat să se intereseze de teoria cunoașterii? Nu există oare în domeniul său de activitate ceva mai important de făcut? Astfel îi aud uneori vorbind pe unii dintre colegii mei de breaslă și mai mulți sînt cei pe care îi simt că gîndesc așa. Eu nu pot să împărtășesc acest fel de a gîndi. Cînd mă gîndesc la cei mai capabili studenți pe care i-am întîlnit eu ca profesor, adică la aceia care s-au evidențiat prin independența judecății lor și nu prin iscusință, constat că se preocupau în modul cel mai activ de teoria cunoașterii. Ei discutau cu plăcere despre țelurile și metodele științei și, prin îndîrjirea cu care își apărau părerile, arătau fără putință de tăgadă că subiectul li se părea important. Acest fapt nu trebuie să ne surprindă.

Dacă mă consacru unei științe nu din rațiuni exterioare, cum ar fi cîștigul material, ambiția și, de asemenea nu, sau nu exclusiv, pentru satisfacția sportivă, pentru plăcerea gimnasticii creierului, atunci trebuie, ca învățăcel al acestei științe, să mă intereseze în mod arzător întrebarea: Ce țel vrea și poate să atingă știința căreia mă

dedic? În ce măsură rezultatele ei generale sînt „adevărate"? Ce este esențial în ea și ce ține doar de aspecte contingente ale dezvoltării?

Pentru a omagia meritul lui Mach nu avem voie să ocolim întrebarea: Ce a adus nou reflecția lui Mach asupra acestor probleme generale, ceva ce nu i-a trecut prin cap nici unui om înaintea lui? Adevărul în aceste lucruri trebuie dăltuit întotdeauna, mereu și mereu, de naturi puternice, întotdeauna potrivit nevoilor timpului pentru care lucrează sculptorul; dacă nu este întotdeauna produs din nou, el se pierde. De aceea este greu, și nu atît de esențial, să răspundem la întrebările: „Ce ne-a învățat principial nou Mach, în raport cu ceea ce știm de la Bacon și Hume?" „Ce îl distinge în mod esențial de Stuart Mill, Kirchhoff, Hertz, Helmholtz în ceea ce privește punctul de vedere epistemologic general față de științele particulare?"[1] Fapt este că, prin scrierile sale istorico-critice, în care urmărește cu atîta dragoste dezvoltarea științelor particulare și-i iscodește pe cercetătorii deschizători de drumuri pînă în intimitățile creierului lor, Mach a avut o mare influență asupra generației noastre de cercetători ai naturii. Ba, mai mult, cred că nici cei care se socot adversari ai lui Mach nu-și dau seama cît au absorbit din modul machist de a vedea lucrurile, pentru a spune așa, o dată cu laptele mamei.

După Mach, știința nu este altceva decît comparare și ordonare a conținuturilor de conștiință ce ne sînt date de fapt, potrivit anumitor puncte de vedere și metode probate de noi în timp. Fizica și psihologia nu se deosebesc deci una de cealaltă în ceea ce privește obiectul, ci numai din punctul de vedere al ordonării și corelării materialului. Se pare că cercetarea modului cum s-a realizat în particular această ordine, în științele pe care le stăpînea, i-a apărut lui Mach drept principala sa sarcină. Ca rezultate ale activităților de ordonare apar noțiunile abstracte și legile (regulile) corelării lor. Amîndouă sînt în așa fel alese încît împreună alcătuiesc o schemă ordonatoare în care se încadrează sigur și sistematic datele ce urmează

să fie ordonate. Potrivit celor spuse, conceptele au sens numai în măsura în care pot fi arătate lucrurile la care se raportează ele, ca și punctele de vedere după care sînt coordonate cu aceste lucruri (analiza conceptelor).[2]

Însemnătatea unor asemenea spirite ca Mach nu stă cîtuși de puțin numai în aceea că au satisfăcut anumite nevoi filozofice ale timpului, pe care specialistul nărăvit le-ar putea califica drept un lux. Noțiunile care s-au dovedit folositoare în ordonarea lucrurilor ajung cu ușurință să aibă asupra noastră o asemenea autoritate încît uităm de originea lor pămîntească și le luăm ca date imuabile. Ele vor fi calificate apoi drept „necesități ale gîndirii", „date *a priori*" și așa mai departe. Asemenea greșeli barează adesea pentru mult timp calea progresului științific. De aceea nu trebuie cîtuși de puțin să privim ca un joc gratuit exersarea în vederea analizării conceptelor devenite de mult familiare, precum și a relevării împrejurărilor de care atîrnă justificarea și utilitatea lor, a felului cum au luat naștere în particular din datele experienței. Aceasta va face ca autoritatea lor excesivă să fie subminată. Ele vor fi înlăturate dacă nu-și vor putea găsi justificarea cu adevărat, vor fi corijate cînd coordonarea lor cu lucrurile date a devenit prea laxă, înlocuite cu altele dacă poate fi formulat un sistem nou, pe care, din anumite motive, îl preferăm.[3]

Asemenea analize îi apar de cele mai multe ori omului de știință specializat, a cărui privire este îndreptată mai mult asupra particularului, de prisos, afectate, uneori chiar ridicole. Situația se schimbă însă cînd una din noțiunile folosite în mod obișnuit este înlocuită cu alta mai precisă, fiindcă dezvoltarea științei respective o cere. Atunci, cei ce nu folosesc cu precizie propriile noțiuni protestează energic și se plîng că bunurile cele mai sfinte sînt supuse unei amenințări revoluționare. În acest strigăt se amestecă apoi și glasurile acelor filozofi care cred că nu se pot lipsi de acea noțiune deoarece au așezat-o în caseta lor a „absolutului", a „*a priori*-ului" sau a ceva asemănător, fiindcă au proclamat imuabilitatea ei principală.

Cititorul a și ghicit, desigur, că aici eu fac aluzie cu deosebire la anumite concepte ale teoriei spațiului și timpului, ca și ale mecanicii, care au cunoscut o modificare prin teoria relativității. Nimeni nu poate să conteste teoreticienilor cunoașterii meritul de a fi netezit în această privință căile dezvoltării viitoare; despre mine știu cel puțin că am fost stimulat în mod deosebit, direct sau indirect, de Hume și Mach.[4] Rog cititorul să ia în mînă lucrarea lui Mach *Mecanica în dezvoltarea ei* și să urmărească considerațiile formulate în capitolul al doilea sub numerele 6 și 7 (*Opiniile lui Newton despre timp, spațiu și mișcare* și *Critica sistematică a argumentelor newtoniene*). Acolo se găsesc gînduri prezentate cu măiestrie, dar departe de a fi devenit bunul comun al fizicienilor. Aceste părți atrag în mod special și datorită faptului că sînt legate de pasaje citate textual din scrierile lui Newton. Iată cîteva asemenea delicatese:

Newton: „Timpul absolut, adevărat și matematic, în sine și după natura sa curge în mod egal fără nici o legătură cu ceva extern și cu un alt nume se cheamă și durată.“ „Timpul relativ, absolut și comun, este acea măsură (precisă și neegală) sensibilă și eternă a oricărei durate determinată prin mișcare, care se folosește de obicei în loc de timpul adevărat, ca oră, ziuă, lună, an.“

Mach: „… Dacă un lucru *A* se schimbă cu timpul, aceasta nu înseamnă decît că există o dependență a condițiilor unui lucru *A* de condițiile unui alt lucru *B*. Oscilațiile unui pendul se produc în timp dacă mișcarea acestuia depinde de poziția Pămîntului. Deoarece atunci cînd observăm pendulul nu trebuie să fim atenți la dependența lui față de poziția Pămîntului, ci putem să-l comparăm pe acesta cu orice alt lucru… se creează ușor impresia că toate aceste lucruri sînt neesențiale… Noi nu avem posibilitatea să măsurăm schimbarea lucrurilor prin raportare la timp. Timpul este mai degrabă o abstracție la care ajungem prin schimbarea lucrurilor, deoarece nu sîntem legați de o anumită unitate de măsură, toate depinzînd unele de altele.“

Newton: „Prin natura sa fără nici o relație cu ceva extern, spațiul absolut rămîne întotdeauna asemenea și imobil.“ „Spațiul relativ este o măsură sau o parte oarecare mobilă a celui absolut, care se relevă simțurilor noastre prin poziția sa față de corpuri și de obicei se confundă cu spațiul imobil.“

Urmează apoi o definiție corespunzătoare a conceptelor „mișcare absolută“ și „mișcare relativă“. După aceasta:

„Efectele prin care se deosebesc între ele mișcările absolute și relative sînt forțele cu care corpurile tind să se îndepărteze de axa mișcării circulare. În adevăr, în mișcarea circulară pur relativă aceste forțe sînt nule, însă în mișcarea circulară adevărată și absolută ele sînt mai mari sau mai mici, după cantitatea de mișcare.“[5]

Urmează acum descrierea bine cunoscutului experiment cu vasul ce trebuie să întemeieze intuitiv cea din urmă afirmație.[6]

Critica pe care o face Mach acestui punct de vedere este foarte interesantă; citez din această lucrare cîteva pasaje deosebit de pregnante: „Cînd spunem că un corp *K* își schimbă direcția și viteza numai sub influența unui alt corp *K'*, noi nu putem să ajungem cîtuși de puțin la această judecată dacă nu există alte corpuri *A*, *B*, *C*… față de care judecăm mișcarea corpului *K*. Noi recunoaștem astfel, de fapt, o relație a corpului *K* cu *A*, *B*, *C*… Dacă am face abstracție dintr-o dată de *A*, *B*, *C*… și am vrea să vorbim de comportamentul corpului *K* în spațiul absolut, atunci am comite o dublă greșeală. Mai întîi, nu am putea ști cum s-ar comporta *K* în absența corpurilor *A*, *B*, *C*…, iar, apoi, ne-ar lipsi orice mijloc de a judeca comportarea corpului *K* și de a verifica enunțurile noastre, care nu ar mai avea, așadar, un sens științific.“

„Mișcarea unui corp *K* poate fi judecată întotdeauna numai prin raportare la alte corpuri *A*, *B*, *C*… Deoarece întotdeauna avem la dispoziție un număr suficient de corpuri ce stau relativ nemișcate unele față de altele sau își schimbă poziția doar lent, noi nu sîntem legați aici de vreun corp determinat și putem să facem abstracție fie

de unul, fie de altul. Așa a luat naștere părerea că, în general, existența acestor corpuri nu ar conta."

„Experimentul lui Newton cu vasul de apă ce se rotește ne învață doar că rotația relativă a apei față de pereții vasului nu provoacă forțe centrifuge notabile, dar că acestea sînt provocate de rotația relativă față de masa Pămîntului și față de celelalte corpuri cerești. Nimeni nu poate să spună cum s-ar desfășura experimentul dacă pereții vasului ar fi tot mai groși și mai voluminoși și, pînă la urmă, ar atinge o grosime de mai multe mile…"

Rîndurile citate arată că Mach a recunoscut în mod clar părțile slabe ale mecanicii clasice[7] și nu a fost prea departe de a pretinde o teorie generală a relativității, și aceasta încă acum aproape o jumătate de secol! Nu este improbabil că Mach ar fi ajuns la teoria relativității, dacă, pe vremea cînd spiritul său mai avea încă prospețimea tinereții, întrebarea cu privire la însemnătatea constanței vitezei luminii i-ar fi preocupat pe fizicieni. În lipsa acestui impuls ce derivă din electrodinamica Maxwell–Lorentz, exigența critică a lui Mach nu a fost suficientă pentru a trezi sentimentul necesității unei definiții a simultaneității evenimentelor separate spațial.

Reflecțiile asupra experimentului lui Newton cu vasul arată cît de aproape de spiritul său a fost revendicarea relativității în sens mai general (relativitatea accelerațiilor). Bineînțeles că aici lipsește conștiința vie a faptului că egalitatea masei inerte și grele a corpurilor cere un postulat al relativității într-un sens mai larg, în măsura în care noi nu sîntem în stare să decidem prin experiment dacă căderea corpurilor față de un sistem de coordonate trebuie atribuită existenței unui cîmp gravitațional sau stării de accelerație a sistemului de coordonate.

Potrivit evoluției sale spirituale, Mach nu a fost un filozof care și-a ales ca obiect al speculațiilor sale științele naturii, ci un cercetător cu interese largi, harnic, pentru care investigația dincolo de problemele de detaliu, situate în centrul interesului general, constituia în mod vizibil o delectare.[8] Dovadă stau nenumăratele lui cer-

cetări particulare în domeniul fizicii și al psihologiei empirice, pe care le-a publicat în parte singur, în parte împreună cu elevii săi. Dintre cercetările sale în fizică, experimentele cele mai cunoscute sînt cele asupra undelor sonore generate de proiectile. Chiar dacă ideea de bază aplicată aici nu a fost principial nouă, aceste cercetări au relevat totuși un talent experimental neobișnuit. El a izbutit să înregistreze fotografic distribuția densității aerului în apropierea unui proiectil cu o viteză mai mare decît cea a sunetului și să arunce astfel o lumină asupra unui gen de fenomene acustice despre care pînă la el nu se știa nimic. Expunerea lui populară asupra acestor cercetări va bucura pe orice om care poate găsi plăcere în probleme de fizică.

Cercetările filozofice ale lui Mach au izvorît exclusiv din dorința de a ajunge la un punct de vedere din care diferitele discipline științifice, cărora le-a consacrat munca sa de o viață, pot să fie concepute drept contribuții la realizarea unui țel comun. El concepe întreaga știință ca năzuință spre ordonarea experiențelor elementare separate, pe care le-a desemnat ca „senzații". Expresia respectivă a făcut posibil ca acest gînditor sobru și precaut să fie adeseori socotit drept un filozof idealist și solipsist de către cei care nu s-au ocupat îndeaproape de lucrările sale.

Citind lucrările lui Mach, împărtășești plăcerea pe care trebuie să o fi simțit autorul atunci cînd și-a așternut pe hîrtie propozițiile sale pregnante și precise. Dar nu numai delectarea intelectuală și satisfacția produsă de un stil bun fac atît de atrăgătoare lectura cărților sale, ci și bunătatea, omenia și optimismul care sclipesc adesea printre rîndurile sale atunci cînd vorbește despre probleme omenești de interes general. Acest fel de a fi l-a ferit și de boala epocii, care astăzi doar pe puțini i-a ocolit, și anume fanatismul național. În articolul său de popularizare „Despre fenomene produse la proiectilele ce zboară" el nu s-a putut abține să dea expresie, în ultimul alineat, speranței sale de realizare a înțelegerii între popoare.

NOTE

1. Asemenea remarci merită toată atenția. Ele sugerează că Einstein vede însemnătatea lui Mach nu atît în activitatea lui de teoretician al cunoașterii științifice, cît mai degrabă în cea de critic al științei timpului său. Mach a contribuit mai mult ca oricare altul din generația sa, îndeosebi prin lucrările sale istorice, la încurajarea unui examen critic al fundamentelor cunoașterii fizice. Einstein vorbește aici ca unul ce a resimțit în mod fericit puterea stimulatoare a cercetărilor istorico-critice întreprinse de Mach, fără să-și fi însușit însă pur și simplu punctul de vedere al fizicianului austriac cu privire la direcțiile în care ar trebui orientată cercetarea fizică. Einstein lasă să se înțeleagă că vede influența lui Mach nu în primul rînd în ceea ce a spus acesta despre natura cunoașterii omenești în genere, în răspunsurile pe care le-a dat unor interogații filozofice cu o lungă tradiție, ci în reflecțiile sale critice asupra dezvoltării cunoașterii fizice moderne de felul celor cuprinse în cunoscuta sa lucrare asupra istoriei mecanicii. Creatorul teoriei relativității a beneficiat de acțiunea eliberatoare a analizelor istorico-critice ale lui Mach într-o epocă în care dominau autoritar convingerile dogmatice cu privire la fundamentele științelor naturii. În anii săi de mai tîrziu, Einstein a exprimat mai clar și mai net temeiurile atitudinii sale bivalente față de concepțiile lui Mach. În *Notele autobiografice*, scrise în 1947, întîlnim o formulare deosebit de concisă și de concludentă: „Eu văd măreția reală a lui Mach în scepticismul și independența lui incomparabile; în tinerețe m-a impresionat puternic și poziția epistemologică a lui Mach care îmi apare astăzi ca fiind în principiu de nesusținut."

2. Așa cum reiese din acest pasaj, punctul de vedere al lui Mach era un punct de vedere empirist deosebit de radical. Așa cum s-a subliniat adesea, Einstein a exploatat în unele cercetări științifice din tinerețe valoarea euristică a acestui punct de vedere, de pildă în analiza critică a conceptului simultaneității. Întrebarea „în ce constă simultaneitatea evenimentelor?" a fost reformulată astfel: „cum putem determina operațional simultaneitatea a două evenimente?" Einstein nu a lucrat însă niciodată conducîndu-se după principiul machist potrivit căruia „conceptele au sens numai în măsura în care pot fi arătate lucrurile la care se raportează ele". Fără îndoială că dacă ar fi urmat în mod strict un asemenea principiu Einstein nu ar fi putut formula teoria relativității și alte idei care i-au asigurat un loc unic în creația științifică a secolului nostru. Mach însuși pare să fi înțeles clar incompatibilitatea dintre principiile sale epistemologice și construcțiile teoretice einsteiniene. Judecata negativă a lui Mach asupra teoriei relativității, formulată fără echivoc într-o prefață scrisă în 1913 la cartea sa *Principiile opticii* (cartea apare abia în 1921, după moartea lui Mach), poate fi interpretată în

acest fel. În această privință, vezi, bunăoară, G. Holton, *Unde este realitatea? Răspunsurile lui Einstein*, în *Știință și sinteză*, Editura Politică, București, 1969, îndeosebi pp. 116–117.

3. Einstein lasă clar să se înțeleagă că lectura lucrărilor lui Mach poate da noi impulsuri gîndirii științifice creatoare în măsura în care ușurează o distanțare critică de concepte și principii adînc înrădăcinate, a căror autoritate se întemeiază pe obișnuință și nu are o justificare superioară, cum s-a crezut adesea. Cele mai multe din pronunțările asupra lui Mach din anii mai tîrzii ai lui Einstein, pronunțări în care judecata negativă asupra concepției machiste a cunoașterii științifice este formulată fără echivoc, dar se subliniază, totodată, influența pozitivă pe care a avut-o contactul în tinerețe cu scrierile lui Mach, pot fi mai bine înțelese din această perspectivă. Cel mai clar și mai larg s-a exprimat Einstein cu privire la ceea ce îi datorează lui Mach, în ciuda dezacordului lor principial, pe plan epistemologic, într-o scrisoare din 6 ianuarie 1948, adresată prietenului său din tinerețe M. Besso: „În ceea ce-l privește pe Mach, trebuie să fac distincția dintre influența lui în general și efectul pe care l-a produs asupra *mea*. Mach a realizat importante cercetări speciale (de exemplu, descoperirea undelor de șoc, care este bazată pe o metodă optică într-adevăr genială). Totuși, nu vreau să vorbim de aceasta, ci de influența lui asupra atitudinii generale față de fundamentele fizicii. Marele său merit este de a fi înmlădiat dogmatismul ce domnea în secolele al XVIII-lea și al XIX-lea în ceea ce privește fundamentele fizicii. El a încercat să arate, îndeosebi în mecanică și în teoria căldurii, cum s-au născut noțiunile din experiență. El a apărat cu convingere punctul de vedere potrivit căruia noțiunile — să le considerăm pe cele fundamentale — nu-și trag justificarea decît din experiență și nu sînt în nici un fel necesare din punct de vedere logic. Acțiunea lui a fost deosebit de binefăcătoare cînd a arătat în mod clar că problemele fizice cele mai importante nu sînt de natură matematico-deductivă; cele mai importante sînt cele ce se raportează la principii de bază. Slăbiciunea lui o văd în faptul că el credea mai mult sau mai puțin că știința constă numai în ordonarea materialului experimental, adică în faptul că a tăgăduit elementul constructiv liber ce intervine în elaborarea unei noțiuni. El gîndea într-un fel că teoriile sînt rezultatul unei *descrieri*, și nu al unei *invenții*. El mergea chiar atît de departe încît considera «senzațiile» nu numai ca un material de conceptualizat, ci, de asemenea, într-o anumită măsură ca materialele de construcție ale lumii reale; el credea că va putea umple astfel prăpastia ce există între psihologie și fizică. Dacă ar fi fost pe de-a întregul consecvent, el nu ar fi trebuit să respingă doar atomismul, ci și ideea unei realități fizice. Cît despre influența lui Mach asupra evoluției gîndirii mele, ea a fost în mod sigur foarte mare. Îmi amintesc foarte bine că tu m-ai făcut atent asupra tratatului său de mecanică și asupra teoriei

sale despre căldură în primii ani ai studiilor mele și că aceste două lucrări mi-au făcut o mare impresie. Pînă la ce punct au acționat ele asupra propriei mele munci nu-mi pot da seama clar, pentru a vorbi sincer, atît cît îmi amintesc. D. Hume a avut asupra mea o influență directă mai mare. L-am citit la Berna în tovărășia lui Conrad Habicht și Solovine. Dar, cum am spus-o, nu sînt în măsură să analizez ceea ce a rămas ancorat în subconștientul meu." (A. Einstein, M. Besso, *Correspondance, 1903–1955*, Hermann, Paris, 1979, pp. 230–231). Referirea la influența lui Hume este în aceste context revelatoare și pentru natura influenței pe care a exercitat-o Mach asupra gîndirii lui Einstein. Căci ceea ce a putut reține cu deosebire Einstein din analizele critice ale lui Hume, îndeosebi din cele consacrate conceptului de cauzalitate, era avertismentul asupra tentației la care sîntem supuși tot timpul de a atribui unor noțiuni care au fost folosite cu succes o perioadă mai lungă de timp și s-au fixat ca efect al obișnuinței statutul de „necesități ale gîndirii", de categorii *a priori*. Chiar și în rîndurile de mai jos ale textului lui Einstein, Mach și Hume sînt amintiți împreună ca teoreticieni ai cunoașterii care au denunțat caracterizarea drept *a priori* sau *logic necesară* a unor noțiuni al căror prestigiu nu s-ar sprijini decît pe obișnuințe create de o utilizare îndelungată.

4. Fără îndoială că desprinderea de idei atît de adînc înrădăcinate nu numai în tradiția fizicii clasice, ci și în gîndirea comună, cum sînt ideile spațiului și timpului absolut, nu se putea realiza dintr-o dată. Cu atît mai puțin putea fi ea realizată doar sub influența unor considerații critice de principiu, cum au fost cele formulate în lucrările lui Mach. Succesele teoriei relativității au avut un rol determinant în înfăptuirea acestei schimbări profunde în gîndirea fizică.

5. Pasajele citate de Mach din cartea lui I. Newton *Principiile matematice ale filozofiei naturale* au fost reproduse după traducerea în limba română realizată de Victor Marian, Editura Academiei, București, 1956.

6. În traducerea românească, descrierea acestui experiment se găsește la paginile 33–34.

7. Einstein nu are în vedere, desigur, legile mecanicii, ci supozițiile filozofice, reprezentarea despre natură pe care se sprijină noțiuni fundamentale ale mecanicii newtoniene cum sînt cele de timp și spațiu. Din acest pasaj, ca și din alte pasaje risipite în scrierile sale, reiese clar că pentru Einstein teoria relativității reprezintă o revizuire a unor concepte ale cinematicii și dinamicii clasice și, prin urmare, a concepției despre natură care a dominat secolele al XVIII-lea și al XIX-lea. Înclinația adesea spontană a lui Einstein spre o interpretare realistă a semnificației teoriilor fizice fundamentale iese mai clar în evidență dacă o comparăm cu punctul de vedere al altor mari fizicieni creatori ai secolului nostru. Vezi în

această privință și nota 8 la textul *Observații asupra articolelor reunite în acest volum*.

8. Este ușor de văzut că Einstein relevă în preocupările lui Mach ceea ce îi este apropiat, în acest caz interesul pentru probleme de principiu. Acest interes trebuie admirat cu deosebire la un om de știință foarte înzestrat pentru cercetarea experimentală. Einstein subliniază deosebirea dintre cercetările de fundamente cultivate de Mach și cercetările tehnice într-un cadru dat, considerat ca asigurat, cercetări ce constituie îndeletnicirea imensei majorități a oamenilor de știință. El nu va putea, desigur, trece cu vederea că elaborarea teoriei relativității a fost impulsionată în mod hotărîtor de interesul pentru cercetarea critică a fundamentelor, un interes care a fost cu totul caracteristic pentru multe din investigațiile întreprinse de Mach. Einstein îl omagiază pe Mach ca pe un cercetător cu asemenea interese. Pasaje semnificative din acest text, ca și din alte texte filozofice ale lui Einstein, pot fi citite drept un elogiu a ceea ce Popper va caracteriza mai tîrziu ca „știință eroică".

PRINCIPIILE CERCETĂRII

Discurs la cea de-a 60-a aniversare a lui Max Planck în cadrul Societății de fizică din Berlin

Un edificiu multiform — acesta este templul științei. Cu totul diferiți sînt oamenii care îi trec pragul, și diferite sînt forțele sufletești care i-au condus spre templu. Cîte unul se îndeletnicește cu știința avînd sentimentul plăcut al capacității sale intelectuale superioare; pentru el știința este exercițiul potrivit care va trebui să-l ajute să trăiască intens și să-și satisfacă ambiția; în templu pot fi găsiți de asemenea mulți care își aduc aici ofranda din substanța creierului lor doar pentru țeluri utilitare. Dacă ar veni acum un înger al Domnului și i-ar alunga din templu pe toți cei ce fac parte din aceste două categorii, templul s-ar goli într-un mod îngrijorător. Ar mai rămîne totuși în templu oameni din zilele noastre, ca și din vremurile mai vechi. Printre aceștia este și Planck al nostru și de aceea îl iubim.

Știu prea bine că noi am alungat cu inimă ușoară și mulți oameni de valoare care au clădit în mare parte, poate în cea mai mare parte, templul științei; în privința multora dintre ei îngerului nostru i-ar fi greu să se hotărască. Un lucru mi se pare însă sigur: dacă nu ar fi existat decît oameni de tipul celor alungați, atunci templul nu ar fi putut fi înălțat, după cum nu poate crește o pădure în care nu întîlnești decît plante agățătoare. Pentru acești oameni orice cîmp de activitate este la fel de bun; atîrnă de împrejurări exterioare dacă ei devin ingineri, ofițeri, comercianți sau oameni de știință. Să ne întoarcem însă din nou privirea spre cei ce au găsit îndurare din partea îngerului! Ei sînt, de cele mai multe ori, inși ciudați,

retrași și singuratici, care, dincolo de aceste apropieri, sînt, de fapt, mai puțin asemănători decît cei din ceata celor alungați. Ce i-a adus oare în templu? Răspunsul nu este ușor de dat și nu poate fi, desigur, același pentru toți. Mai întîi, cred, împreună cu Schopenhauer, că unul din cele mai puternice motive ce conduc la artă și știință este evadarea din viața de toate zilele cu asprimea ei dureroasă și pustiul ei dezolant, din cătușele propriilor dorințe veșnic schimbătoare. Toate acestea îl alungă pe omul sensibil din existența personală în lumea contemplării obiective și a înțelegerii; este un motiv comparabil cu nostalgia ce îl împinge pe orășean, fără putință de împotrivire, din ambianța sa zgomotoasă și lipsită de perspectivă spre ținuturile liniștite ale munților înalți unde privirea se pierde în depărtări prin aerul liniștit și pur și se animă de contururi odihnitoare create, parcă, de eternitate. Acestui motiv negativ i se alătură însă unul pozitiv. Omul încearcă, într-un fel care să i se potrivească oarecum, să-și creeze o imagine a lumii simplificată și sistematică și să treacă astfel dincolo de lumea trăirilor, în măsura în care năzuiește să o înlocuiască, pînă la un anumit grad, prin această imagine. Este ceea ce face pictorul, poetul, filozoful speculativ și cercetătorul naturii, fiecare în felul său. El strămută centrul de greutate al vieții sufletești în această imagine și în alcătuirea ei pentru a căuta astfel liniștea și statornicia pe care nu le poate găsi în cercul prea strîmt al zbuciumatelor trăiri personale.

Ce loc ocupă imaginea despre lume a fizicianului teoretician între toate aceste imagini posibile ale lumii? Ea cere ca descrierea corelațiilor să fie de o rigoare și exactitate maxime pe care doar folosirea limbajului matematic le poate oferi. În schimb, fizicianul trebuie să fie cu atît mai modest în ceea ce privește conținutul, mulțumindu-se să descrie cele mai simple fenomene ce pot fi făcute accesibile simțurilor noastre, în timp ce toate fenomenele mai complexe nu pot fi reconstituite de spiritul omenesc cu acea subtilă precizie și consecvență pe care

le cere fizicianul teoretician. Cea mai mare puritate, claritate și siguranță cu prețul completitudinii. Ce farmec poate însă avea să cuprinzi cu precizie un fragment atît de mic al naturii și să lași la o parte, timid și descurajat, tot ce este mai fin și mai complex? Merită rezultatul unei îndeletniciri atît de resemnate mîndrul nume „imagine a lumii“ (*Weltbild*)?

Eu cred că mîndrul nume este pe deplin meritat, căci legile universale pe care se sprijină edificiul de idei al fizicii teoretice au pretenția de a fi valabile pentru orice eveniment din natură. Pornind de la ele ar trebui să fie găsită, pe calea deducției pur mintale, imaginea, adică teoria oricărui proces al naturii, inclusiv al fenomenelor vieții, dacă acest proces de deducție nu ar depăși cu mult capacitatea minții omenești. Renunțarea la completitudinea tabloului fizic al lumii nu este, așadar, principială.

Cea mai înaltă menire a fizicianului este, prin urmare, căutarea acelor legi elementare, cele mai generale, din care, prin pură deducție, poate fi dobîndită imaginea lumii. La aceste legi elementare nu duce nici un drum logic, ci numai intuiția ce se sprijină pe cufundarea în experiență. Dată fiind această nesiguranță a metodei, am putea crede că ar fi cu putință oricît de multe sisteme ale fizicii teoretice, în egală măsură îndreptățite; această părere este, desigur, chiar și principial vorbind, întemeiată. Desfășurarea lucrurilor ne-a arătat însă că, din toate construcțiile ce pot fi gîndite, una singură s-a dovedit superioară în raport cu celelalte în momentul respectiv. Nici un om care a aprofundat cu adevărat subiectul nu va tăgădui că lumea percepțiilor determină într-un mod practic univoc sistemul teoretic, deși nici un drum logic nu duce de la percepții spre principiile teoriei; este ceea ce Leibniz a numit într-un mod atît de fericit „armonie prestabilită“[1]. A nu fi apreciat cum se cuvine această împrejurare este reprosul grav pe care îl fac fizicienii unor teoreticieni ai cunoașterii. Aici mi se pare că se află și rădăcinile polemicii de acum cîțiva ani dintre Mach și Planck.[2]

Năzuința spre contemplarea acelei armonii prestabilite este izvorul nesfîrșitei stăruințe și răbdări cu care îl vedem pe Planck dăruindu-se problemelor celor mai generale ale științei noastre, fără a se lăsa abătut de țeluri mai rentabile și mai ușor accesibile.[3] Am auzit deseori că tovarășii de breaslă voiau să explice această purtare printr-o putere a voinței și o disciplină ieșite din comun; cu totul pe nedrept, cred eu. Căci starea de spirit care îl face pe un ins în stare de asemenea realizări seamănă cu cea a omului religios sau cu cea a îndrăgostitului; strădania de fiecare zi nu izvorăște din nici o intenție și din nici un program, ci dintr-o nevoie nemijlocită.

Iubitul nostru Planck este în mijlocul nostru și privește cu îngăduință jocul meu copilăresc cu lampa lui Diogene. Simpatia pe care i-o purtăm nu are nevoie de nici o întemeiere. Fie ca iubirea pentru știință să-i înfrumusețeze și în viitor drumul vieții și să-l conducă la dezlegarea celei mai importante probleme fizice a prezentului căreia i-a dat un impuls atît de puternic. Să-i reușească unificarea într-un sistem logic unitar a teoriei cuantice cu electrodinamica și mecanica![4]

NOTE

1. Einstein schițează aici, prin cîteva reflecții epistemologice sumare, contururile mari ale concepției ipotetic-deductive asupra teoriei științifice. Această concepție a fost elaborată sistematic în deceniile următoare de logicienii științei. Pentru reflecții asemănătoare vezi *Discurs de recepție la Academia prusacă de științe*. Pentru dezvoltări vezi și *Despre metoda fizicii teoretice*.

2. Polemica la care se referă Einstein a început prin publicarea articolului lui M. Planck *Die Einheit des physikalischen Weltbildes* (1908). Răspunsului lui Mach, *Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen* (1910), i-a urmat în același an replica lui Planck, *Zur Machschen Theorie der physikalischen Erkenntnis. Eine Erwiderung*. Einstein exprimă în acest pasaj în mod clar înțelegere și sprijin pentru poziția lui Planck. În două scrisori adresate lui Mach, prima nedatată, probabil din iarna anilor 1912–1913, și a doua din iunie 1913, Einstein s-a exprimat totuși altfel în această privință. Se pare că în acel

moment judecata lui Einstein a fost influențată hotărîtor de modul cum aprecia pozițiile celor doi fizicieni față de proiectul teoriei generale a relativității la care lucra. Exprimîndu-și satisfacția pentru interesul lui Mach față de noua sa teorie, Einstein continua astfel în prima sa scrisoare: „Mă bucură în mod deosebit că prin dezvoltarea acestei teorii vor deveni cunoscute profunzimea și însemnătatea cercetărilor dumneavoastră asupra fundamentelor mecanicii. Nu pot să înțeleg nici astăzi de ce Planck, pe care de altfel am învățat să-l prețuiesc ca pe nimeni altul, are atît de puțină înțelegere pentru strădaniile dumneavoastră. El are de altfel o atitudine de respingere și față de teoria mea. Nu pot să iau aceasta în nume de rău. Căci pînă acum acel argument epistemologic este singurul lucru pe care aș putea să-l invoc în favoarea noii mele teorii." (Fr. Herneck, *Einstein und sein Weltbild*, Buchverlag Der Morgen, Berlin, 1976, pp. 140–141). În a doua scrisoare Einstein îi comunica lui Mach că i-a trimis un exemplar al noii sale lucrări despre relativitatea generală. Teoria va putea fi testată experimental cu ocazia eclipsei de soare din 1914. Dacă rezultatul va fi pozitiv, „genialele dumneavoastră cercetări despre fundamentul mecanicii vor cunoaște o strălucită confirmare, în ciuda criticii neîntemeiate a lui Planck" (*op.cit*., p. 143).

3. Vorbind de Planck, Einstein caracterizează în aceste rînduri în mod potrivit și propria lui situație față de munca de cercetare științifică. Într-o scrisoare adresată prietenului său din tinerețe M. Solovine, el observa: „Interesul meu pentru știință era în fond limitat întotdeauna la studiul principiilor, ceea ce explică cel mai bine întreaga mea comportare. Faptul că am publicat atît de puțin ține de aceeași împrejurare, dat fiind că dorința arzătoare de a înțelege principiile a avut drept consecință că majoritatea timpului a fost consumată cu eforturi infructuoase." (A. Einstein către M. Solovine la 30 octombrie 1924, în A. Einstein, *Lettres à Maurice Solovine*, Gauthier Villars, Paris, 1956, p. 49.)

4. Referindu-se la marele său coleg, Einstein dezvăluie și aici propriile sale preocupări și năzuințe. Afirmații semnificative în acest sens găsim îndeosebi în *Notele autobiografice*.

GEOMETRIE ȘI EXPERIENȚĂ

Matematica se bucură, față de toate celelalte științe, de un prestigiu aparte dintr-un anumit motiv: propozițiile ei sînt absolut sigure și neîndoielnice în vreme ce propozițiile tuturor celorlalte științe sînt într-o anumită măsură discutabile și în permanent pericol de a fi răsturnate de fapte nou descoperite. Cu toate acestea, cercetătorul dintr-un alt domeniu nu ar trebui să-l invidieze pe matematician dacă propozițiile lui s-ar raporta nu la obiecte ale realității, ci la cele ale simplei noastre închipuiri. Căci nu trebuie să surprindă că se ajunge la consecințe logice general acceptate dacă s-a realizat un acord asupra propozițiilor fundamentale (axiome), ca și asupra metodelor prin mijlocirea cărora au fost derivate alte propoziții din aceste propoziții fundamentale. Dar acest mare prestigiu al matematicii decurge, pe de altă parte, din faptul că matematica este aceea care conferă științelor exacte ale naturii un anumit grad de siguranță, pe care, fără matematică, nu l-ar fi putut atinge.

În acest punct survine o enigmă care i-a neliniștit în mod deosebit pe cercetătorii din toate timpurile. Cum este oare cu putință ca matematica, care este un produs al gîndirii omenești independent de orice experiență, să se potrivească totuși atît de bine obiectelor realității? Poate, așadar, rațiunea omenească să cerceteze însușiri ale lucrurilor reale prin simplă gîndire, fără ajutorul experienței?

La acestea se poate răspunde, după părerea mea, scurt: în măsura în care propozițiile matematicii se raportează la realitate, ele nu sînt sigure, iar în măsura în care sînt

sigure, ele nu se raportează la realitate. Cred că o deplină claritate în ceea ce privește această situație a devenit un bun comun abia prin acea direcție din matematică cunoscută sub numele de „axiomatică". Progresul realizat prin axiomatică constă în aceea că prin ea logic-formalul a fost despărțit net de conținutul material sau intuitiv; potrivit axiomaticii, numai logic-formalul reprezintă obiectul matematicii, și nu conținutul intuitiv sau un alt conținut corelat cu logic-formalul.

Să considerăm, din acest punct de vedere, o axiomă oarecare a geometriei, bunăoară următoarea: prin două puncte din spațiu trece întotdeauna o dreaptă și numai o singură dreaptă. Cum poate fi interpretată această axiomă în sensul mai vechi și mai nou?

Interpretarea mai veche: Fiecare știe ce este o dreaptă și ce este un punct. Dacă această cunoaștere provine din interacțiunea elementului logic-formal și intuitiv sau din altă sursă, acest lucru nu trebuie să-l decidă matematicianul; el lasă această decizie în seama filozofului. Sprijinită pe această cunoaștere, dată înaintea oricărei matematici, axioma numită, ca și toate celelalte axiome, este evidentă, adică este expresia unei părți a acestei cunoașteri *a priori*.

Interpretarea mai nouă: Geometria operează cu obiecte desemnate prin cuvintele *dreaptă*, *punct* și așa mai departe. Nu se presupune nici o cunoaștere sau intuiție despre aceste obiecte, ci doar validitatea unei axiome înțelese de asemenea pur formal, adică detașată de orice conținut intuitiv și de trăire. Față de un asemenea conținut, axioma amintită este un exemplu. Aceste axiome sînt creații libere ale spiritului omenesc. Toate celelalte propoziții geometrice sînt consecințe logice derivate din axiome (concepute pur nominalist). Abia axiomele definesc obiectele cu care se ocupă geometria. De aceea Schlick, în cartea sa de teoria cunoașterii, a caracterizat axiomele — foarte potrivit — ca „definiții implicite"[1].

Această concepție asupra axiomei, susținută de axiomatica modernă, curăță matematica de toate elementele

ce nu țin de ea și înlătură astfel întunecimea mistică ce învăluia mai înainte fundamentul matematicii. O asemenea reprezentare purificată face de asemenea evident faptul că matematica — ca atare — nu poate să enunțe ceva nici despre obiecte ale intuiției, nici despre obiecte ale realității. În geometria axiomatică prin „punct", „dreaptă" și așa mai departe trebuie înțelese doar scheme conceptuale golite de orice conținut. Ceea ce le dă conținut nu aparține matematicii.

Pe de altă parte, este însă totuși sigur că matematica în genere, și geometria, în special, își datorează geneza nevoii de a afla ceva despre comportarea lucrurilor reale. Aceasta o dovedește chiar cuvîntul *geometrie* care înseamnă „măsurarea pămîntului". Căci măsurarea pămîntului tratează despre posibilitățile așezării anumitor corpuri din natură unele față de altele, adică despre părți ale globului pămîntesc, despre sfori ale zidarilor, rigle de măsurat și așa mai departe. Este clar că sistemul de concepte al geometriei axiomatice nu oferă nici un enunț despre comportarea unor asemenea obiecte ale realității pe care dorim să le caracterizăm drept corpuri practic rigide. Pentru a putea furniza asemenea enunțuri, geometria trebuie să fie despuiată de caracterul ei logic-formal în așa fel încît schemele conceptuale goale ale geometriei axiomatice să fie coordonate cu obiecte ale realității cunoscute prin simțuri. Pentru a realiza aceasta trebuie să adăugăm doar propoziția: corpurile rigide se comportă în ceea ce privește posibilitățile lor de așezare ca și corpurile geometriei euclidiene cu trei dimensiuni; atunci propozițiile geometriei euclidiene cuprind enunțuri despre comportarea unor corpuri practic rigide.

Geometria completată în acest fel este în mod evident o știință a naturii; o putem considera chiar ca cea mai veche ramură a fizicii. Enunțurile ei se sprijină în esență pe inducție din experiență, nu numai pe concluzii logice. Vom numi geometria astfel completată „geometrie practică" și o vom distinge în cele ce urmează de „geometria pur axiomatică". Întrebarea dacă geometria prac-

tică a lumii este una euclidiană are un sens clar și poate să primească un răspuns numai prin experiență. Orice măsurare a lungimilor în fizică este geometrie practică în acest sens, la fel măsurarea geodezică și astronomică a lungimilor, dacă ne ajutăm de propoziția empirică după care lumina se propagă în linie dreaptă, și anume în linie dreaptă în sensul geometriei practice.

Acestei concepții asupra geometriei îi acord o semnificație deosebită deoarece fără ea mi-ar fi fost cu neputință să stabilesc teoria relativității. Fără ea ar fi fost imposibilă următoarea reflecție: într-un sistem de referință ce se rotește în raport cu un sistem inerțial, legile de așezare ale corpurilor rigide nu corespund, datorită contracției Lorentz, regulilor geometriei euclidiene; așadar, dacă sistemele neinerțiale sînt acceptate ca sisteme cu aceleași drepturi, geometria euclidiană va trebui să fie părăsită. Pasul hotărîtor al trecerii spre ecuații general covariante nu ar fi fost în mod sigur făcut dacă nu ar fi fost adoptată interpretarea de mai sus. Dacă se respinge relația dintre corpurile geometriei axiomatic euclidiene și corpurile practic rigide ale realității, se ajunge la următoarea concepție, pe care a apărat-o îndeosebi pătrunzătorul Henri Poincaré: dintre toate celelalte geometrii axiomatice ce pot fi gîndite, geometria euclidiană se distinge prin simplitatea ei. Deoarece geometria axiomatică singură nu conține însă nici un enunț despre realitatea cunoscută prin simțuri, ci numai geometria axiomatică în corelație cu propoziții fizice, ar fi posibil și rațional să păstrăm geometria euclidiană, oricare ar fi alcătuirea realității. Căci, dacă vor apărea contradicții între teorie și experiență, ne vom decide mai curînd la o schimbare a legilor fizice decît a geometriei euclidiene axiomatice. Dacă se respinge relația dintre corpurile practic rigide și geometrie, nu vom putea scăpa ușor de convenția că trebuie să păstrăm geometria euclidiană ca geometria cea mai simplă.

De ce resping Poincaré și alți cercetători echivalența evidentă a corpurilor practic rigide ale experienței și a

corpurilor geometrice? Pur și simplu deoarece corpurile real solide din natură nu sînt, la o considerare mai atentă, rigide, deoarece comportarea lor geometrică, adică posibilitățile lor de așezare relative, depind de temperatură, forțe exterioare și așa mai departe. Cu aceasta, relația originară, nemijlocită dintre geometrie și realitatea fizică pare să fie distrusă și ne simțim împinși spre următoarea concepție mai generală, ce caracterizează punctul de vedere al lui Poincaré: geometria (G) nu spune nimic despre comportarea lucrurilor reale, ci numai geometria împreună cu suma legilor fizice (F). Simbolic putem spune că numai suma (G) + (F) se supune controlului experienței. Putem deci să alegem în mod arbitrar pe G, ca și părți din F; toate aceste legi sînt convenții. Pentru evitarea contradicțiilor este necesar să alegem restul lui (F) în așa fel încît (G) și (F), luate împreună, să fie în acord cu experiența. În această concepție, geometria axiomatică și o parte a legilor naturii, ridicate la rangul de convenții, apar drept echivalente din punct de vedere epistemologic.

Sub specie aeterni Poincaré are, după părerea mea, dreptate. Conceptul de etalon de măsurare, ca și conceptul ceasornicului de măsurat, ce îi este coordonat în teoria relativității, nu găsesc în lumea reală un obiect care să le corespundă în mod exact. Este de asemenea clar că nici corpurile rigide, nici ceasornicul nu joacă rolul de elemente ireductibile ale construcției conceptuale a fizicii, ci rolul unor structuri corelate ce nu au voie să joace un rol de sine stătător în construcția fizicii teoretice. Convingerea mea este că, în actualul stadiu de dezvoltare a fizicii teoretice, aceste concepte trebuie să figureze ca noțiuni independente; căci sîntem încă departe de o cunoaștere asigurată a fundamentelor teoretice ale atomisticii astfel încît să putem da o construcție teoretică exactă acestor structuri.

Cît privește, mai departe, obiecția că în natură nu există corpuri cu adevărat rigide și că însușirile atribuite acestora nu privesc realitatea fizică, această obiecție nu

este cîtuși de puțin atît de profundă cum s-ar putea crede la o examinare fugitivă.[2] Căci nu este greu să stabilim starea fizică a unui instrument de măsurat cu atîta precizie încît comportarea lui față de așezarea relativă a altor instrumente de măsurat să devină destul de univocă, permițîndu-ne să-l substituim corpului „rigid". La asemenea instrumente de măsurat vor trebui raportate enunțurile despre corpurile rigide.

Orice geometrie practică se sprijină pe un principiu accesibil experienței pe care dorim să ni-l imaginăm acum. Vom numi *linie* distanța dintre două jaloane așezate pe un corp practic rigid. Ne imaginăm două corpuri practic rigide, pe fiecare fiind însemnată o linie. Aceste două linii vor trebui numite „egale una cu alta" dacă jaloanele uneia pot fi făcute să coincidă în mod constant cu jaloanele celeilalte. Se presupune acum că, dacă două linii sînt găsite egale o dată și într-un anumit loc, ele sînt egale întotdeauna și pretutindeni.

Pe aceste presupoziții se sprijină nu numai geometria euclidiană practică, ci și cea mai apropiată generalizare a ei, geometria riemanniană practică, și cu aceasta și teoria generală a relativității. Dintre temeiurile empirice ce vorbesc în favoarea acestor presupoziții voi expune aici unul singur. Fenomenul propagării luminii în spațiul vid pune în corespondență cu orice interval spațio-temporal o linie, adică drumul corespunzător al luminii, și invers. Legat de aceasta, presupunerea indicată mai sus pentru linii trebuie să fie valabilă în teoria relativității și pentru intervale de timp măsurate de ceasornice. În acest caz, ea poate fi formulată astfel: dacă două ceasornice ideale merg la fel de repede undeva și cîndva (ele fiind nemijlocit învecinate), ele merg la fel de repede întotdeauna, indiferent unde și cînd au fost ele comparate în același loc. Dacă această propoziție nu ar fi valabilă pentru ceasornicele naturale, atunci frecvențele proprii atomilor individuali ai aceluiași element chimic nu ar coincide atît de exact unele cu altele cum o arată experiența. Existența liniilor spectrale nete constituie o

probă empirică convingătoare pentru numitul principiu al geometriei practice. De aceea, în cele din urmă, putem vorbi cu sens de o metrică riemanniană a continuului cvadridimensional spațiu-timp.

Problema dacă acest continuu este euclidian sau adecvat schemei riemanniene generale sau altfel structurat este, potrivit concepției susținute aici, o problemă propriu-zis fizică, la care răspunsul trebuie să-l dea experiența, și nu este deci problema unei convenții ce urmează să fie aleasă pe temeiuri de convenabilitate.[3] Geometria riemanniană va fi valabilă exact atunci cînd legile de așezare a corpurilor practic rigide trec tot mai exact în cele ale corpurilor geometriei euclidiene în măsura în care mărimile domeniului spațio-temporal considerat se micșorează.

Interpretarea fizică a geometriei prezentată aici eșuează, este adevărat, în aplicarea ei imediată la spații de mărimii submoleculare. Ea își păstrează totuși o parte din semnificația ei și pentru problemele constituției particulelor elementare. Căci se poate încerca să se atribuie semnificație fizică conceptelor cîmpului, care au fost definite pentru descrierea geometrică a comportării corpurilor mai mari decît molecula și atunci cînd este vorba de descrierea particulelor electrice elementare din care este constituită substanța materială. Numai succesul poate decide asupra îndreptățirii unei asemenea încercări ce acordă realitate fizică conceptelor de bază ale geometriei riemanniene dincolo de domeniul lor de aplicare fizic definit. Este posibil să rezulte că această extrapolare este tot atît de puțin oportună ca și cea a conceptului de temperatură asupra părților unui corp de mărime moleculară.

Mai puțin problematică apare extinderea conceptelor geometriei practice asupra spațiilor de mărime cosmică. S-ar putea desigur obiecta că o construcție formată din vergele rigide se îndepărtează cu atît mai mult de idealul rigidității cu cît întinderea ei spațială este mai mare. Cu greu s-ar putea însă atribui o semnificație principială

acestei obiecții. De aceea, întrebarea dacă lumea este spațial finită sau nu mi se pare o problemă pe de-a-ntregul rezonabilă în sensul geometriei practice. Nici măcar nu mi se pare exclus ca, într-un viitor previzibil, această întrebare să primească un răspuns din partea astronomiei. Să ne reamintim ce ne învață în această privință teoria generală a relativității. Potrivit ei există două posibilități:

1. Lumea este spațial infinită. Acest lucru este posibil numai dacă densitatea spațială medie a materiei concentrate în stele se anulează, adică dacă relația dintre masa totală a stelelor și mărimea spațiului în care sînt ele împrăștiate se apropie nelimitat de valoarea zero, dacă spațiile considerate sînt tot mai mari.

2. Lumea este spațial finită. Acesta trebuie să fie cazul dacă există o densitate medie diferită de zero a materiei ponderabile în univers. Volumul universului este cu atît mai mare cu cît această densitate medie este mai mică.

Nu vreau să trec cu vederea că pentru ipoteza finității lumii poate fi revendicat un temei teoretic. Teoria generală a relativității arată că inerția unui anumit corp este cu atît mai mare cu cît în vecinătatea sa se găsește mai multă masă ponderabilă; de aceea pare foarte firesc să reducem întreaga inerție a unui corp la interacțiuni între el și celelalte corpuri ale lumii, tot așa cum, încă de la Newton, greutatea a fost în întregime redusă la interacțiuni între corpuri. Din ecuațiile teoriei generale a relativității se poate deduce că această reducere totală a inerției la interacțiunea dintre mase — așa cum a cerut-o, de exemplu, Ernst Mach — este cu putință numai dacă lumea este spațial finită.

Acest argument nu are nici o înrîurire asupra multor fizicieni și astronomi. Dacă, în cele din urmă, numai experiența poate decide care din cele două posibilități se realizează în natură, se pune întrebarea: cum poate experiența să ofere un răspuns? S-ar putea crede, mai întîi, că densitatea medie a materiei ar putea fi determi-

nată prin observarea părții din univers accesibile percepției noastre. Această nădejde este înșelătoare. Distribuția stelelor vizibile este deosebit de neregulată, astfel încît în nici un caz nu putem cuteza să echivalăm densitatea medie a materiei stelare în univers cu densitatea medie a Căii Lactee. Și, oricît de mare ar fi spațiul cercetat, putem întotdeauna bănui că în afara acestui spațiu mai există și alte stele. O evaluare a densității medii ne apare, așadar, drept exclusă.

Există și o a doua cale, ce mi se pare mai accesibilă, chiar dacă este și ea presărată cu mari greutăți. Dacă ne întrebăm care sînt abaterile consecințelor teoriei generale a relativității față de teoria lui Newton, abateri accesibile observației noastre, rezultă mai întîi o abatere ce se produce la o mare apropiere de masa gravitațională, o abatere care a putut fi confirmată în cazul planetei Mercur. Pentru cazul în care lumea este spațial finită există și o a doua abatere față de teoria newtoniană, care se poate exprima astfel în limbajul teoriei newtoniene: Cîmpul gravitațional este în așa fel alcătuit, încît pare să fi fost generat, în afară de masa ponderabilă și de o densitate a masei cu semn negativ care este repartizată uniform în spațiu. Deoarece această masă imaginară trebuie să fie extrem de mică, ea ar putea fi observată numai în sistemele gravitaționale de mare întindere.

Să presupunem că am cunoaște repartiția statistică a stelelor în Calea Lactee, ca și masa acestora. Atunci am putea calcula, după legea lui Newton, cîmpul gravitațional ca și viteza medie pe care trebuie să o aibă stelele pentru ca, datorită interacțiunii lor, Calea Lactee să nu se prăbușească, ci să-și mențină întinderea. Dacă însă vitezele medii reale ale stelelor ce se pot măsura ar fi mai mici decît cele calculate, am avea proba că atracțiile reale la distanțe mari sînt mai mici decît cele conforme legii lui Newton. Printr-o asemenea abatere s-ar putea dovedi indirect caracterul finit al lumii și s-ar evalua chiar și mărimea ei spațială.

NOTE

1. Este vorba de lucrarea lui M. Schlick, *Allgemeine Erkenntnislehre*, Verlag von Julius Springer, Berlin, prima ediție 1918, a doua ediție 1925.

2. Critica concepției convenționaliste asupra geometriei, în formularea pe care i-a dat-o H. Poincaré, așa cum este ea dezvoltată în acest text poate fi comparată cu discuția imaginată de Einstein în *Obsevații asupra articolelor reunite în acest volum*, între un susținător și un critic al concepției convenționaliste asupra geometriei.

3. Rațiunile examenului critic la care supune Einstein ideea caracterului convențional al alegerii geometriei utilizate în descrierea spațiului fizic, idee legată de numele lui Poincaré, apar aici cu multă claritate. Descrierea metricii spațiului în teoria generalizată a relativității primește semnificație fizică și, totodată, filozofică numai dacă admitem supoziția că adoptarea unei geometrii euclidiene sau neeuclidiene pentru descrierea fizică este o chestiune în care decide experiența, și nu o convenție „ce urmează să fie aleasă pe temeiuri de convenabilitate".

MECANICA LUI NEWTON ȘI INFLUENȚA EI ASUPRA EVOLUȚIEI FIZICII TEORETICE

Se împlinesc în aceste zile două sute de ani de cînd Newton a închis ochii pentru totdeauna. Într-un asemenea moment simțim nevoia să evocăm memoria acestui spirit luminos, care a determinat structurile gîndirii, cercetării și practicii occidentale așa cum n-a făcut-o nimeni înaintea lui sau după el. Newton n-a fost doar un genial descoperitor al unor metode speciale de o mare semnificație, el a dominat, de asemenea, într-o manieră unică faptele empirice cunoscute la acea vreme și a fost fantastic de inventiv în privința metodelor matematice sau fizice de demonstrație aplicabile în situații fizice particulare. Pentru toate acestea el este demn de venerația noastră cea mai profundă. Figura lui Newton are însă o importanță și mai mare decît cea care ține de geniul său intrinsec, datorită faptului că destinul l-a plasat într-un punct crucial al istoriei spiritului uman. Pentru a ne da seama în mod clar de aceasta, trebuie să ne reamintim că înaintea lui Newton nu exista un sistem bine definit al cauzalității fizice capabil de a reprezenta vreuna dintre cele mai adînci trăsături ale lumii fizice.

După cum se știe, marii materialiști ai antichității grecești au pretins ca toate procesele materiale să fie reduse la desfășurarea logică a mișcărilor atomilor, reglată strict, fără a admite intervenția voinței ființelor vii drept cauză de sine stătătoare. De asemenea, Descartes a reluat în modul său specific acest proiect. Dar el a rămas o dorință îndrăzneață, idealul problematic al unei școli filozofice. Rezultate reale, apte de a da un temei ideii existenței

unui lanț neîntrerupt al cauzalității fizice, nu existau deloc înaintea lui Newton.

Scopul lui Newton a fost să răspundă la întrebarea: există o regulă simplă după care să se poată calcula în mod complet mișcările corpurilor cerești din sistemul nostru planetar, atunci cînd se cunoaște starea de mișcare a tuturor acestor corpuri la un moment dat? Legile empirice ale lui Kepler cu privire la mișcarea planetelor, stabilite pe baza observațiilor lui Tycho Brahe, fuseseră deja enunțate și necesitau o explicație*. Aceste legi, este adevărat, dădeau un răspuns complet la întrebarea *cum* se mișcă planetele în jurul Soarelui (forma de elipsă a orbitelor, egalitatea ariilor pe care le parcurge raza în timpi egali, relația dintre semiaxele mari și perioada de rotație în jurul Soarelui). Dar aceste reguli nu satisfăceau exigența cauzalității. Ele reprezintă trei reguli logic independente, fără vreo conexiune internă reciprocă. Legea a treia nu poate fi pur și simplu aplicată în mod cantitativ altor corpuri centrale decît Soarelui (nu există, cu alte cuvinte, nici o relație între perioada de rotație a unei planete în jurul Soarelui și aceea a unui satelit în jurul planetei sale). Totuși, aspectul cel mai important este următorul: aceste legi se referă la mișcarea luată ca întreg și nu la problema *modului în care o stare a mișcării unui sistem o generează pe cea care urmează în mod nemijlocit în timp*; aceste legi sînt, cum spunem astăzi, legi integrale și nu legi diferențiale.

Legea diferențială este singura formă care satisface pe deplin exigența cauzalității proprie fizicianului modern. Conceperea clară a legii diferențiale este una dintre cele mai mari realizări intelectuale ale lui Newton. Pentru aceasta este necesar nu doar gîndul lui, ci și un for-

* Astăzi toată lumea știe ce muncă imensă a necesitat descoperirea acestor legi pornind de la orbitele constatate empiric. Dar puțini reflectă asupra metodei geniale prin care Kepler a dedus orbitele reale pornind de la cele aparente, adică de la cele date de observațiile efectuate de pe Pămînt (*n.t.*).

malism matematic, care, e drept, exista într-o formă rudimentară, dar care cerea o formă sistematică. Newton a găsit și acest formalism prin calcul diferențial și integral. Nu vom discuta aici dacă Leibniz a ajuns la aceleași metode matematice independent de Newton sau nu. În orice caz, pentru Newton perfecționarea acestora a reprezentat o necesitate, deoarece numai ele i-ar fi putut oferi instrumentul adecvat pentru exprimarea ideilor sale.

Galilei făcuse deja un pas important în cunoașterea legilor mișcării. El a descoperit legea inerției și legea căderii libere a corpurilor în cîmpul gravitațional al Pămîntului: o masă (mai exact, un punct material) care nu e supusă influențelor altor mase se mișcă uniform și rectiliniu în cîmpul de gravitație al Pămîntului; viteza unui corp în cădere liberă verticală crește proporțional cu timpul. Astăzi, s-ar putea să ni se pară că doar un mic pas desparte legea de mișcare a lui Newton de descoperirile lui Galilei. Trebuie însă să observăm că cele două enunțuri de mai sus se referă, prin forma lor, la mișcare ca întreg, pe cînd legea de mișcare a lui Newton oferă un răspuns la întrebarea: cum se exprimă starea de mișcare a unui punct material *într-un timp infinit de mic* sub influența unei forțe exterioare? Numai prin trecerea la considerarea fenomenelor într-un timp infinit mic (legea diferențială) a ajuns Newton la acea formulare care este valabilă pentru orice fel de mișcări. El a împrumutat ideea de forță din știința extrem de dezvoltată a staticii. Pentru el conexiunea dintre forță și accelerație a devenit posibilă numai prin introducerea noului concept al masei care, în mod curios, se întemeia pe o pseudo-definiție. Astăzi sîntem atît de obișnuiți cu formarea unor concepte ce corespund unor derivate, încît nu mai putem aprecia ce remarcabilă putere de abstracție a fost necesară pentru a obține legea diferențială generală a mișcării printr-o derivare de ordinul doi, în timp ce conceptul de masă trebuia, mai întîi, inventat.

Cu aceasta ne aflăm încă departe de obținerea unei înțelegeri cauzale a proceselor de mișcare. Deoarece mișcarea era determinată prin ecuația de mișcare numai în cazul în care forța era dată. Inspirat probabil de legitățile mișcării planetelor, Newton a conceput ideea că forța ce acționează asupra unei mase e determinată de poziția tuturor maselor situate la o distanță suficient de mică de masa respectivă. Numai după ce această relație a fost cunoscută, a devenit posibilă o înțelegere pe deplin cauzală asupra proceselor mișcării. Este cunoscut modul în care Newton, pornind de la legile mișcării planetelor ale lui Kepler, a rezolvat această problemă pentru gravitație, descoperind astfel identitatea de natură dintre forțele motrice ce acționează asupra astrelor și gravitație. Numai prin combinarea Legii mișcării cu Legea atracției s-a constituit acest minunat edificiu de gîndire ce face posibilă calcularea stării trecute și a celei viitoare a unui sistem din starea sa la un moment dat, în măsura în care evenimentele se produc numai sub influența forțelor gravitaționale. Unitatea logică a sistemului conceptual a lui Newton constă în aceea că singurele lucruri care apar drept cauze ale accelerației maselor unui sistem sînt *înseși aceste mase*.

Pe temeiul acestor principii schițate aici, Newton a reușit să explice mișcarea planetelor, sateliților și a cometelor pînă în cele mai mici amănunte, apoi fluxul și refluxul, mișcarea de precesie a Pămîntului — o realizare deductivă de o măreție unică. O mare admirație a produs descoperirea identității dintre cauzele mișcării corpurilor cerești și greutate, fenomen cu care sîntem astăzi atît de obișnuiți în viața cotidiană.

Importanța realizării lui Newton nu s-a limitat însă la faptul că el a creat o bază efectivă și logic satisfăcătoare pentru știința mecanică; pînă la sfîrșitul secolului al XIX-lea aceasta a constituit programul oricărei cercetări desfășurate în domeniul fizicii teoretice. Toate fenomenele fizice trebuiau reduse la mase ce se supuneau legilor newtoniene de mișcare. Legea forței trebuia pur

și simplu extinsă și aplicată orice tip de fapte considerate. Newton însuși a încercat să aplice acest program în optică, presupunînd că lumina consistă din corpuscule inerte. Însăși teoria opticii ondulatorii folosea legea de mișcare a lui Newton, după ce aceasta a fost aplicată maselor răspîndite continuu. Ecuațiile de mișcare ale lui Newton reprezentau unica bază pentru teoria cinetică a căldurii, care nu numai că a pregătit terenul pentru descoperirea legii conservării energiei, dar a condus, de asemenea, la o teorie a gazelor care a fost confirmată pînă în cele mai mici detalii și la o idee mai profundă asupra naturii legii a doua a termodinamicii. Teoria electricității și magnetismului s-a dezvoltat, de asemenea, pînă în vremurile moderne sub imperiul ideilor fundamentale ale lui Newton (substanță electrică și magnetică, forțe ce acționează la distanță). Chiar și revoluția produsă în electrodinamică și optică de Faraday și Maxwell, care a reprezentat primul mare progres principial la nivelul fundamentelor fizicii teoretice după Newton, s-a realizat sub totala orientare a ideilor lui Newton. Maxwell, Boltzmann, lordul Kelvin n-au ezitat să reducă cîmpurile electromagnetice și acțiunile lor dinamice reciproce la acțiunea mecanică a unor mase ipotetice răspîndite în mod continuu. Totuși, ca urmare a sterilității sau cel puțin a lipsei de succes a acestor eforturi, s-a produs în mod progresiv, încă de la sfîrșitul secolului trecut, o revoluționare a reprezentărilor de bază: fizica teoretică a depășit cadrul conceptual newtonian care asigurase stabilitatea și ghidase gîndirea științifică timp de aproape două secole.

Principiile fundamentale ale lui Newton au fost atît de satisfăcătoare din punct de vedere logic, încît impulsul de înnoire nu putea apărea decît sub presiunea unor fapte de experiență. Înainte de a mă ocupa mai îndeaproape de acest aspect, trebuie să subliniez că însuși Newton era mult mai conștient de anumite slăbiciuni ale edificiului său intelectual decît au fost generațiile de savanți ce l-au urmat. Acest fapt mi-a provocat întotdea-

una admirație plină de respect. Aș dori de aceea să mă opresc pe scurt asupra acestora.

I. În ciuda faptului că efortul lui Newton de a-și prezenta sistemul de idei ca fiind în mod necesar determinat de experiență și de a introduce cît mai puține concepte ce nu se referă direct la obiecte empirice este peste tot evident, el a formulat conceptele de spațiu absolut și de timp absolut, care i-au fost adesea reproșate în anii noștri. Dar tocmai în acest punct este Newton în mod deosebit consecvent. El a recunoscut faptul că mărimile geometriei observabile (distanțele între punctele materiale) și evoluția lor în timp nu caracterizează în mod complet mișcarea din punct de vedere fizic. El a demonstrat aceasta prin faimosul experiment cu găleata cu apă în rotație. Ca urmare, pe lîngă mase și distanțele lor ce variază în timp, trebuie să mai existe ceva care să determine mișcarea. Acest „ceva" a fost considerat de el ca fiind relația cu „spațiul absolut". El a admis că spațiul trebuie să posede un gen de realitate fizică pentru ca legile de mișcare formulate de el să poată avea semnificație, o realitate de același gen cu aceea a punctelor materiale și a distanțelor dintre ele.

Această concepție clară ne relevă atît înțelepciunea lui Newton cît și un aspect slab al teoriei sale. Structura logică a acestei teorii ar fi fost cu siguranță mai satisfăcătoare fără acest concept vag; în acest caz, în formularea legilor ar fi trebuit să apară numai obiecte a căror relație cu percepția era perfect clară (punctele materiale, distanțele).

II. Introducerea forțelor acționînd direct și instantaneu la distanță pentru a reprezenta efectele gravitației nu corespunde caracterului majorității fenomenelor pe care le cunoaștem din experiența obișnuită. Newton a răspuns acestei obiecții indicînd că legea sa a atracției gravitaționale nu putea să constituie o explicație definitivă a fenomenelor, ci doar o regulă derivată prin inducție din experiență.

III. Teoria lui Newton nu oferea o explicație pentru faptul cu totul straniu că greutatea și inerția unui corp

sînt determinate de aceeași mărime (masa). Natura stranie a acestui fapt l-a frapat și pe Newton.

Nici unul dintre aceste trei puncte nu constituie o obiecție logică împotriva teoriei; ele nu reprezintă, într-o anumită măsură, decît deziderate neîmplinite ale spiritului științific în lupta lui pentru pătrunderea completă și unitară din gîndire a fenomenelor naturale.

Pentru doctrina newtoniană a mișcării, considerată ca program pentru întreaga fizică teoretică, primul șoc a venit din partea teoriei electricității a lui Maxwell. A devenit astfel clar că acțiunile reciproce dintre corpuri datorate forțelor electrice și magnetice sînt realizate nu prin forțe ce acționează instantaneu la distanță, ci prin intermediul unor procese ce se propagă în spațiu cu viteză infinită. Faraday a introdus, pe lîngă punctul material și mișcarea lui, un nou tip de entitate fizică reală, și anume „cîmpul". S-a încercat mai întîi, pe baza modului de gîndire mecanic, să se interpreteze acest nou concept ca o stare mecanică (a mișcării sau a forței) a unui mediu ipotetic care umple spațiul (eterul). Dar atunci cînd, în ciuda celor mai intense eforturi, această interpretare a eșuat, oamenii au trebuit să accepte treptat cîmpul electromagnetic, ca ultimă cărămidă de construcție ireductibilă a realității fizice. Îi datorăm lui H. Hertz eliberarea conceptului de cîmp de orice accesoriu provenind din arsenalul concepției mecanice și lui H. A. Lorentz eliberarea de orice purtător material, singurul purtător al cîmpului rămînînd spațiul fizic vid (sau eterul), care nici în mecanica lui Newton nu era deposedat de orice funcție fizică. În momentul în care această evoluție se încheiase, nimeni nu mai credea în forțe care acționează nemijlocit și instantaneu la distanță, nici chiar în domeniul gravitației, chiar dacă pentru aceasta nu se schițase încă o teorie de cîmp indiscutabilă, din lipsa unor cunoștințe empirice suficiente. Evoluția teoriei electromagnetice a cîmpului a condus — de îndată ce ipoteza newtoniană a forțelor ce acționează la distanță a fost

abandonată — la tentativa de a explica legea de mișcare newtoniană în termenii electromagnetismului, respectiv de a o înlocui printr-una mai exactă, fundată pe teoria cîmpului. Deși aceste încercări n-au dus la un succes deplin, conceptele fundamentale ale mecanicii au încetat să mai fie considerate ca piatră de temelie a imaginii lumii fizice.

Teoria Maxwell–Lorentz a condus în mod necesar la teoria specială a relativității, care, abandonînd ideea simultaneității absolute, a exclus existența unor forțe ce acționează la distanță. Din această teorie a rezultat că masa nu mai reprezintă o mărime invariabilă, ci una care depinde de (fiind echivalentă cu) mărimea conținutului de energie. Ea a arătat, de asemenea, că legea de mișcare a lui Newton va trebui considerată ca o lege-limită aplicabilă numai pentru viteze mici; în locul ei a fost introdusă o nouă lege de mișcare în care viteza luminii în vid intervine ca o viteză-limită.

Teoria generală a relativității a reprezentat ultimul pas în dezvoltarea programului teoriei cîmpului. Din punct de vedere cantitativ ea a modificat foarte puțin teoria lui Newton, dar din punct de vedere calitativ ea i-a adus modificări mult mai profunde. Inerția, gravitația și comportarea metrică a corpurilor și ceasurilor au fost reduse la o calitate unitară a cîmpului; acest cîmp, la rîndul lui, a fost pus în dependență de corpuri (generalizarea legii gravitației a lui Newton, respectiv a legii cîmpului care-i corespundea, așa cum a fost formulată de Poisson). Prin aceasta timpul și spațiul au fost deposedate nu de realitatea lor, ci de caracterul lor de absolut cauzal (un absolut ce influența materia, dar nu era afectat de influența ei), pe care Newton a fost obligat să li-l acorde pentru a putea formula legile cunoscute atunci. Legea generalizată a inerției preia rolul legii de mișcare a lui Newton. Această scurtă explicație e suficientă pentru a evidenția modul în care elementele teoriei newtoniene sînt transferate în teoria generală a relativității prin care cele trei defecte semnalate mai sus sînt depă-

șite. Este posibil ca, în cadrul acestei ultime teorii, legea de mișcare să poată fi dedusă din legea cîmpului corespunzătoare legii newtoniene a forțelor. Numai după ce se va realiza acest obiectiv se va putea vorbi de o teorie pură a cîmpului.

Mecanica lui Newton a deschis drumul pentru teoria cîmpului și într-un sens mai formal. Aplicarea mecanicii lui Newton unor mase ce se distribuie în mod continuu a condus în mod necesar la descoperirea și folosirea ecuațiilor diferențiale parțiale (Einstein folosește aici expresia „ecuații diferențiale parțiale" pentru ecuații diferențiale cu derivate parțiale — *n.t.*), care, la rîndul lor, ar fi putut oferi prima expresie adecvată legilor teoriei cîmpului. Din punct de vedere formal, concepția lui Newton asupra legii diferențiale a reprezentat primul pas decisiv pentru dezvoltarea ulterioară.

Întreaga evoluție a ideilor noastre despre procesele naturii de care am vorbit mai sus poate fi privită ca o dezvoltare organică a ideilor lui Newton. Dar, în timp ce procesul perfecționării teoriei cîmpului se află încă în plină desfășurare, descoperirea radiației termice, spectrele, radioactivitatea etc. au pus în evidență o limită a posibilității de a utiliza întregul sistem de idei, limită ce ne apare încă și azi de netrecut, în ciuda succesului imens înregistrat în rezolvarea unor aspecte particulare. Mulți fizicieni susțin — și au argumente puternice — că în fața acestor fapte eșuează nu doar legea diferențială, ci însăși legea cauzalității — pînă în prezent postulatul fundamental al întregii științe. Este negată însăși posibilitatea unei construcții spațio-temporale care ar putea fi pusă în corespondență în mod univoc cu procesele fizice. Faptul că un sistem mecanic admite doar valori discrete sau stări discrete ale energiei — așa cum rezultă direct din experiență — pare la prima vedere greu de dedus dintr-o teorie de cîmp care operează cu ecuații diferențiale. Metoda L. de Broglie–Schrödinger, care într-un anumit sens are caracterul unei teorii de cîmp, deduce într-adevăr pe baza ecuațiilor diferențiale, printr-un gen

de considerații de rezonanță, doar existența unor stări discrete, într-un uimitor acord cu faptele de experiență. Dar această metodă trebuie să renunțe la localizarea particulelor materiale și la legi strict cauzale. Cine își îngăduie însă azi să decidă dacă legea cauzalității și legea diferențială, aceste premise ultime ale concepției newtoniene asupra naturii, vor trebui definitiv abandonate?

JOHANNES KEPLER

În epoci pline de griji și frămîntate cum este epoca noastră, cînd cu greu pot fi găsite motive de bucurie legate de oameni și de desfășurarea activităților umane, ne putem consola evocînd amintirea unui om atît de mare și senin cum a fost Kepler. El a trăit într-o vreme cînd existența unei legități generale privind desfășurarea fenomenelor naturale nu era în nici un caz acceptată fără rezerve. Cît de mare trebuie să fi fost credința în această legitate pentru ca ea să-i fi dat forța necesară de a consacra, în siguranță, zeci de ani unei munci dificile și răbdătoare de cercetare empirică a mișcării planetelor și a legilor matematice ale acestei mișcări, fără a avea nici sprijin și nici înțelegere din partea contemporanilor. Dacă dorim să-i cinstim cum se cuvine memoria, va trebui să ne reprezentăm clar problema cu care s-a confruntat și să stabilim cît mai exact stadiile rezolvării ei.

Copernic atrăsese deja atenția celor mai înalte spirite asupra faptului că am putea dobîndi o înțelegere clară a mișcărilor aparente ale planetelor considerînd aceste mișcări drept mișcări de rotație ale planetelor în jurul Soarelui, presupus imobil. Dacă planetele s-ar mișca uniform și în cerc în jurul Soarelui situat în centru, ar fi relativ ușor să se descopere cum arată de pe Pămînt aceste mișcări. Cum însă era vorba de fenomene mult mai complicate, problema s-a dovedit a fi mult mai dificilă. Primul lucru ce trebuie făcut era să se determine aceste mișcări în mod empiric din observațiile lui Tycho Brahe asupra planetelor. Numai atunci se putea pune

problema de a descoperi legile generale pe care le satisfac aceste mișcări.

Pentru a sesiza cu cîtă greutate puteau fi determinate mișcările reale de rotație, va trebui să ne edificăm asupra următoarei situații: nu putem vedea niciodată unde se găsește efectiv o planetă într-un moment anumit, ci doar în ce direcție este ea observată de pe Pămînt, acesta din urmă descriind, la rîndul lui, o curbă de natură necunoscută în jurul Soarelui. Dificultățile păreau deci insurmontabile.

Kepler a trebuit să descopere o cale pentru a introduce ordinea în acest haos. El a înțeles că, în primul rînd, trebuia determinată mișcarea Pămîntului. Acest lucru ar fi fost pur și simplu imposibil, dacă ar fi existat doar Soarele, Pămîntul și stelele fixe, nu însă și celelalte planete, deoarece în acest caz nu s-ar fi putut determina empiric decît modul cum se modifică în timpul anului direcția dreptei care leagă Pămîntul și Soarele (mișcarea aparentă a Soarelui în raport cu stelele fixe). Se putea descoperi astfel că toate aceste direcții Soare–Pămînt se află într-un plan staționar în raport cu stelele fixe, cel puțin în conformitate cu precizia observațiilor efectuate în acele vremi, cînd nu existau telescoape. Pe această cale se putea determina, de asemenea, în ce fel se rotește în jurul Soarelui linia de legătură Soare–Pămînt. S-a constatat că viteza unghiulară a acestei mișcări se modifică regulat în timpul anului. Dar aceasta nu putea fi încă de mare ajutor atîta timp cît nu se cunoștea variația anuală a distanței Soare–Pămînt. Numai atunci cînd aceste modificări anuale au fost cunoscute, s-a descoperit forma reală a orbitei Pămîntului precum și modul în care este descrisă aceasta.

Kepler a găsit o cale admirabilă de a ieși din această dilemă. Mai întîi, din observațiile asupra Soarelui rezulta că viteza mersului aparent al Soarelui în raport cu fondul stelelor fixe era diferită în diferite perioade ale anului, dar că viteza unghiulară a acestei mișcări era mereu aceeași în aceeași perioadă a anului astronomic și, ca urmare, viteza de rotație a liniei drepte de legătură Soare–Pămînt era întotdeauna aceeași dacă era raportată

la aceeași regiune a stelelor fixe. Se putea deci admite că orbita Pământului, pe care Pământul o parcurge în același fel în fiecare an, era o orbită *închisă în sine* — fapt ce nu era evident *a priori*. Pentru partizanii sistemului lui Copernic devenea aproape cert că această explicație trebuie să fie valabilă și pentru orbitele celorlalte planete.

Aceasta constituia deja un pas înainte. Dar cum să se determine forma reală a orbitei Pământului? Să ne imaginăm prezența într-un loc al planului orbitei a unei lanterne puternice *M*, despre care știm că rămîne permanent în același loc și formează astfel un gen de punct fix de triangulație pentru a se determina orbita Pământului, un punct pe care locuitorii Pământului l-ar putea viza în fiecare perioadă a anului. Să admitem că această lanternă *M* se află la o distanță mai mare de Soare decît de Pământ. Cu ajutorul unei asemenea lanterne se putea determina orbita Pământului, și anume în felul următor:

Mai întîi, în fiecare an există un moment cînd Pământul *P* se află exact pe linia care leagă Soarele *S* și lanterna *M*. În acel moment, vizînd de pe Pământul *P* lanterna *M*, linia astfel obținută va fi în același timp direcția *SM* (Soare–Lanternă). Să admitem că această direcție va fi marcată pe cer. Apoi să ne imaginăm Pământul într-o poziție diferită și la un moment diferit. Deoarece atît lanterna *M*, cît și Soarele *S*, pot fi văzute de pe Pământ, unghiul *P* din triunghiul *SPM* ar putea fi cunoscut. Dar, prin observații directe asupra Soarelui, noi cunoaștem de asemenea și direcția lui *SP* în raport cu stelele fixe, în timp ce direcția liniei de legătură *SM* în raport cu stelele fixe a fost determinată dinainte pentru totdeauna. Dar în triunghiul *SPM* cunoaștem și unghiul *S*. Ca urmare, alegînd în mod liber o bază *SM*, putem trasa pe hîrtie triunghiul *SPM*: pe baza cunoașterii unghiurilor *P* și *S*. Putem repeta acest lucru la intervale diferite în cursul anului; de fiecare dată vom obține pe hîrtie o localizare a Pământului *P* cu momentul temporal corespunzător în raport cu linia de bază *SM* stabilită o dată pentru tot-

deauna. Orbita Pământului va fi astfel determinată empiric, nu însă și dimensiunea ei absolută.

Dar, veți întreba, de unde a luat Kepler această lanternă? Geniul său și natura, binevoitoare în acest caz, i-au oferit-o. Exista, de exemplu, planeta Marte a cărei revoluție anuală era cunoscută. Se ajunge uneori ca Pământul, Soarele și Marte să se afle exact în linie dreaptă și această poziție a lui Marte se repetă după fiecare an marțian, deoarece Marte parcurge o traiectorie închisă. În aceste momente cunoscute, *SM* reprezintă întotdeauna aceeași linie de bază, în timp ce Pământul se află mereu într-un alt punct al orbitei sale. Observațiile asupra Soarelui și asupra lui Marte, în momentele respective, furnizează ca urmare un mijloc de a determina orbita adevărată a Pământului, planeta Marte jucînd atunci rolul lanternei noastre fictive. Astfel a descoperit Kepler forma adevărată a orbitei Pământului și modul în care acesta o descrie; nouă tuturor celorlalți născuți mai tîrziu, europeni, germani sau șvabi nu ne rămîne decît să-l admirăm și să-l prețuim pentru aceasta.

O dată determinată empiric orbita Pământului, puteau fi cunoscute poziția și lungimea reale ale liniei *SP* în orice moment; pentru Kepler nu mai era atît de dificil să calculeze, pe baza observațiilor, orbitele și mișcările celorlalte planete, cel puțin în principiu. A fost necesară desigur o muncă imensă, mai ales dacă ținem seama de stadiul de atunci al matematicii.

Rămînea cea de-a doua parte, nu mai puțin dificilă, a operei căreia Kepler îi dedicase întreaga sa viață. Orbitele erau cunoscute empiric, mai trebuiau deduse legile lor din aceste date empirice. Trebuia formulată o ipoteză asupra naturii matematice a curbei descrise de orbită și, după aceea, verificată pe baza imensului număr de date; dacă rezultatele nu concordau, se imagina o nouă ipoteză și se relua verificarea. După nesfîrșite căutări, o ipoteză confirmată: orbita este o eclipsă; în centrul ei se află Soarele. El a găsit și legea potrivit căreia viteza se modifică în timpul rotației, în așa fel încît linia

planetă–Soare acoperă suprafețe egale în intervale de timp egale. În fine, Kepler a descoperit că pătratele perioadelor de revoluție sînt proporționale cu cuburile axelor mari ale elipselor.

Admirația noastră față de acest om sublim se împletește cu un alt sentiment de admirație și de venerație, care însă nu mai e legat de o ființă umană, ci de misterioasa armonie a naturii în care ne-am născut. Încă din Antichitate, oamenii au imaginat curbe ale celor mai simple legi posibile: printre acestea, pe lîngă linia dreaptă și cercul, elipsa și hiperbola. Pe acestea din urmă le regăsim — cel puțin cu o bună aproximație — în orbitele corpurilor cerești.

S-ar părea că rațiunea umană trebuie să construiască mai întîi, independent, formele, înainte de a le putea dovedi existența în natură. Din minunata operă de-o viață a lui Kepler înțelegem clar că experiența simplă nu poate genera cunoașterea, aceasta fiind produsă doar prin compararea creațiilor spiritului cu faptele observației.

INFLUENȚA LUI MAXWELL ASUPRA EVOLUȚIEI CONCEPȚIEI DESPRE REALITATEA FIZICĂ

Credința într-o lume exterioară independentă de subiectul cunoscător stă la baza întregii științe a naturii. Întrucît percepțiile ne dau numai o informație indirectă asupra acestei lumi exterioare sau asupra realității fizice (*Physikalisch-Realen*), aceasta nu poate fi sesizată de noi decît pe o cale speculativă. De aici decurge că concepțiile noastre asupra realității fizice nu pot fi niciodată definitive. Trebuie să fim permanent pregătiți să schimbăm aceste concepții — adică fundamentul axiomatic al fizicii — pentru a fi în acord cu faptele într-o modalitate perfectă din punct de vedere logic. De fapt, o privire sumară asupra dezvoltării fizicii ne arată că acest fundament axiomatic a suferit de-a lungul timpului modificări profunde.[1]

Cea mai mare schimbare a bazei axiomatice a fizicii, cu alte cuvinte a concepției noastre cu privire la structura realității, de la întemeierea fizicii teoretice prin Newton, a fost provocată de cercetările lui Faraday și Maxwell asupra fenomenelor electromagnetice. În cele ce urmează vom încerca să prezentăm mai exact acest fapt examinînd atît evoluția anterioară a ideilor, cît și pe cea ulterioară.

În sistemul lui Newton realitatea fizică este caracterizată prin conceptele de timp, spațiu, punct material și forță (acțiune reciprocă a punctelor materiale). Fenomenele fizice trebuie considerate, după Newton, mișcări ale punctelor materiale în spațiu guvernate de legi determinate. Punctul material este singurul mod de a reprezenta realitatea în măsura în care aceasta se află în mișcare.

Corpurile perceptibile au constituit, evident, punctul de plecare în formarea conceptului punctului material; acesta a fost imaginat ca un analog al corpurilor mobile, abstracție făcînd de formă, întindere, orientare în spațiu, de toate proprietățile „intrinseci", păstrînd doar inerția și translația și adăugînd ideea de forță. Corpurile materiale, care au provocat psihologic formarea conceptului de „punct material", au fost considerate, la rîndul lor, ca sisteme de puncte materiale. Trebuie să menționăm că acest sistem teoretic este în esența sa atomist și mecanic. Orice fenomen trebuie conceput pur mecanic, adică în termenii mișcărilor simple ale punctelor materiale după legile de mișcare ale lui Newton.

Aspectul cel mai puțin satisfăcător al acestui sistem teoretic (lăsînd la o parte dificultățile implicate de conceptul de „spațiu absolut", rediscutate în ultima vreme) apare în special în teoria luminii, pe care Newton o concepea, în conformitate cu sistemul său, ca fiind compusă din puncte materiale. Încă de pe atunci se punea acut întrebarea: ce devin punctele materiale din care e compusă lumina atunci cînd aceasta este absorbită? Introducerea unor puncte materiale de tipuri diferite, postulate pentru a reprezenta materia ponderabilă, pe de o parte, și lumina, pe de altă parte, nu putea constitui o soluție satisfăcătoare. Mai tîrziu acestora li s-au adăugat corpusculii electrici ca un al treilea tip, avînd, la rîndul lui, caracteristici fundamental diferite. O altă slăbiciune a fundamentelor sistemului newtonian consta în aceea că forțele acțiunii reciproce prin care sînt determinate evenimentele trebuiau admise ipotetic într-o manieră absolut arbitrară. Cu toate acestea, concepția newtoniană asupra realității a fost deosebit de fecundă; cum se face că oamenii de știință s-au simțit tentați s-o abandoneze?

Pentru a putea da în general o formă matematică sistemului său, Newton a trebuit să inventeze noțiunea de derivată și să stabilească legile mișcării în forma ecuațiilor diferențiale totale — realizînd astfel, poate, cel mai mare progres îngăduit gîndirii vreunui om. Ecuațiile

diferențiale parțiale nu erau necesare pentru aceasta; de aceea Newton nu le-a folosit în mod sistematic. Ele au devenit însă necesare pentru formularea mecanicii corpurilor deformabile, datorită faptului că, în aceste probleme, modul în care se presupunea că respectivele corpuri sînt construite din puncte materiale nu avea nici o importanță.

Astfel, ecuația diferențială parțială a intrat în fizica teoretică în chip de servitoare, pentru a deveni treptat stăpînă. Aceasta a început în secolul al XIX-lea, cînd, sub presiunea faptelor observate, s-a impus teoria ondulatorie a luminii. Lumina în spațiul vid a fost interpretată prin vibrațiile eterului și se părea că nu are nici un rost ca, la rîndul său, eterul să fie conceput și el ca un conglomerat de puncte materiale. Aici ecuația diferențială parțială a apărut pentru prima oară ca expresia naturală a elementarului în fizică. Astfel cîmpul continuu a intervenit, într-un domeniu particular al fizicii teoretice, alături de punctul material, ca reprezentant al realității fizice. Acest dualism se păstrează și astăzi, apărînd ca un factor deranjant pentru orice spirit sistematic.

Dacă ideea de realitate fizică a încetat de a mai fi pur și simplu atomistă, ea a rămas totuși, înainte de toate, pur *mecanică*; s-a încercat în continuare să se interpreteze orice fenomen ca o mișcare a maselor inerte, ba chiar se părea că nici nu s-ar putea imagina un alt fel de a privi lucrurile. Atunci a intervenit marea schimbare, care va rămîne legată de numele lui Faraday, Maxwell și Hertz. Partea leului în această revoluție i-a revenit lui Maxwell. El a arătat că tot ceea ce se cunoștea atunci despre lumină și despre fenomenele electromagnetice se exprimă în bine cunoscutul său dublu sistem de ecuații diferențiale parțiale, în care cîmpurile electric și magnetic apăreau ca variabile dependente. Într-adevăr, Maxwell a încercat să fundamenteze, respectiv să justifice, aceste ecuații cu ajutorul modelelor (construcțiilor) mecanice ideale.

El s-a servit în același timp de mai multe asemenea construcții fără a lua prea în serios vreuna dintre ele,

astfel încît ecuațiile păreau să fie lucrul esențial, iar forțele cîmpurilor ce interveneau în acestea deveneau entități elementare ireductibile.[2] La răscrucea secolelor, concepția asupra cîmpului electromagnetic ca entitate ultimă se impusese deja într-o manieră generală, teoreticienii cei mai riguroși nemaiacordînd încredere justificării sau posibilității de fundamentare mecanică a ecuațiilor lui Maxwell. În ultima vreme s-a încercat chiar, invers, să se explice punctele materiale și inerția lor în cadrul teoriei lui Maxwell cu ajutorul ideilor de cîmp, fără ca aceste eforturi să fi fost însă încununate de un succes definitiv.[3]

Dacă, făcînd abstracție de rezultatele *particulare* importante pe care munca de o viață a lui Maxwell le-a adus în principalele domenii ale fizicii, ne vom concentra atenția asupra schimbării provocate de el în concepția asupra naturii realității fizice, am putea spune: înainte de Maxwell oamenii concepeau realitatea fizică — în măsura în care aceasta se presupune că reprezintă fenomene naturale — ca puncte materiale ale căror modificări nu constau decît în mișcări supuse ecuațiilor diferențiale totale*; după Maxwell, realitatea fizică este concepută ca fiind reprezentată de cîmpuri continue, inexplicabile în termeni mecanici, supuse ecuațiilor diferențiale parțiale. Această schimbare a conceptului de realitate este cea mai profundă și fertilă schimbare care s-a produs în fizică după Newton. Trebuie totuși să admitem că această idee programatică n-a fost încă realizată pe deplin. Teoriile fizice stabilite cu succes după aceea reprezintă mai degrabă un gen de compromis între aceste două programe, și tocmai din cauza acestui caracter de compromis ele poartă amprenta provizoriului și incompletitudinii logice, deși fiecare, luată în sine, a realizat mari progrese.

Aici trebuie menționată mai întîi teoria electronică a lui Lorentz, în care corpusculii electrici și cîmpul apăreau, paralel, ca elemente de valoare egală pentru înțelegerea realității. Au urmat teoria specială și teoria generală

* În original apare expresia „parțiale“ („partielles“) (*n.t.*).

a relativității care, deși se bazează în întregime pe considerarea ideilor teoriei cîmpului, n-au putut evita introducerea independentă a punctelor materiale și a ecuațiilor diferențiale totale.[4]

Ultima creație cu cel mai mare succes a fizicii teoretice, mecanica cuantică, diferă în fundamentele ei în mod principial de ambele programe pe care le vom numi, pe scurt, newtonian și maxwellian. Deoarece mărimile care apar în legile ei nu pretind să descrie *însăși* realitatea fizică, ci doar *probabilitățile* apariției unei realități fizice avute în vedere. Dirac, căruia îi datorăm, după opinia mea, cea mai desăvîrșită expunere a teoriei din punct de vedere logic, indică pe bună dreptate faptul că va fi probabil dificil să se ofere o descriere teoretică a unui foton în așa fel încît ea să ne dea informația suficientă pentru a decide dacă el va trece sau nu printr-un polarizor dispus (transversal) în calea sa.

Eu însă continuu să cred că fizicienii nu se vor mulțumi multă vreme cu o asemenea descriere indirectă a realității, nici chiar dacă s-ar reuși adaptarea satisfăcătoare a teoriei la postulatul relativității generale. În acest caz, s-ar putea să se revină la încercarea de a realiza un program pe care l-am putea denumi foarte nimerit maxwellian — și anume, descrierea realității fizice prin cîmpuri ce satisfac ecuații diferențiale parțiale fără singularități.[5]

NOTE

1. Aceasta este prima formulare a *credo*-ului epistemologic al lui Einstein, despre care va scrie în autobiografia sa intelectuală că s-a conturat „mai tîrziu și încet" și că „nu corespunde punctului de vedere pe care l-am adoptat în anii mai tineri". Caracteristice pentru concepția realistă a lui Einstein asupra cunoașterii fizice, așa cum este ea formulată în acest text, sînt trei motive. Mai întîi, observația că simțurile ne dau numai o informație indirectă asupra realității, care poate fi cunoscută numai pe cale „speculativă" (rațională). În al doilea rînd, identificarea realității fizice cu lumea exterioară. În al treilea rînd, concluzia că, de vreme ce teoriile nu pot fi derivate din fapte, ci sînt produsul imaginației creatoare a

cercetătorului, o descriere teoretică perfectă, definitivă, a realității fizice nu va fi niciînd posibilă. Pentru dezvoltarea acestor teme, vezi îndeosebi *Fizica și realitatea*, *Observații asupra teoriei cunoașterii a lui Bertrand Russell*, *Note autobiografice* și *Observații asupra articolelor reunite în acest volum*.

2. În alt text, *Fizica și realitatea*, Einstein apreciază că prin opera lui Maxwell cîmpul continuu și-a făcut loc mai mult inconștient ca „reprezentant al realității fizice". Aceasta deoarece marele fizician englez a rămas atașat în gîndirea lui conștientă de ideea că punctele materiale ale mecanicii newtoniene constituie baza întregii realități fizice. Maxwell a încercat să construiască modele mecanice ale eterului.

3. Programul teoriei unitare a cîmpului, la care Einstein lucra deja în perioada în care a scris acest text, urmărea tocmai realizarea acestei idei. Einstein omagiază în Maxwell pe cercetătorul în a cărui operă vede prima licărire a ideii unificării cunoașterii fizice pe baza cîmpului continuu, o idee care a orientat întreaga activitate a creatorului teoriei relativității, ca cercetător al naturii.

4. Aceste observații indică foarte limpede de ce credea Einstein că numai o teorie generală a cîmpului va însemna desăvîrșirea acelei linii de gîndire care a fost inaugurată de teoria cîmpului a lui Maxwell și continuată de teoria relativității. Pentru Einstein teoria generală a relativității constituia o treaptă importantă, dar numai o treaptă, pe calea spre acest țel.

5. Pentru o reluare a acestei aprecieri, vezi *Fundamentele fizicii teoretice*.

EPILOG:
UN DIALOG SOCRATIC

Interlocutori: Einstein — Max Planck — Murphy

Notă: Textul care urmează reprezintă o prescurtare a unor însemnări stenografice făcute de un secretar însoțitor în timpul diverselor convorbiri.

Murphy: Lucrez împreună cu prietenul nostru Planck la o carte ce se ocupă în principal de problema cauzalității și a liberului arbitru.

Einstein: Îți spun cinstit că nu înțeleg ce au în vedere oamenii cînd vorbesc de liber arbitru. Eu simt, de exemplu, că vreau un lucru sau altul: dar nu pot pricepe cîtuși de puțin ce legătură are asta cu libertatea. Simt că vreau să-mi aprind pipa și o fac; dar cum pot să leg lucrul acesta de ideea de libertate? Ce stă în spatele actului de *a voi* să aprinzi pipa? Un alt act de voință? Schopenhauer a spus o dată: *Der Mensch kann, was er will; er kann aber nicht wollen, was er will* (Omul poate face ceea ce vrea, dar nu poate să vrea ceea ce vrea).

Murphy: Acum însă este la modă în fizică să se atribuie un fel de liber arbitru pînă și proceselor obișnuite din lumea anorganică.

Einstein: Această absurditate nu e doar o simplă absurditate. Ci este o absurditate supărătoare.

Murphy: Oamenii de știință, firește, îi dau numele de indeterminism.

Einstein: Ascultă! „Indeterminism“ e o noțiune cu totul ilogică. Ce înțeleg ei prin indeterminism? Dacă spun că durata medie de viață a unui atom radioactiv este de

atîta, acesta e un enunț ce exprimă o anumită ordine, o *Gesetzlichkeit*[*]. Dar această idee nu implică prin ea însăși ideea de cauzalitate. Noi o numim legea mediilor; dar nu orice lege de acest fel trebuie să aibă neapărat o semnificație cauzală. În același timp, dacă spun că durata medie de viață a unui asemenea atom este nedeterminată în sensul de a nu avea o cauză, spun un non-sens. Pot să spun că o să mă întîlnesc mîine cu dumneata la un moment nedeterminat. Dar aceasta nu înseamnă că timpul nu este determinat. Fie că eu vin sau nu, timpul va veni. Aici este în joc confuzia ce se face uneori între lumea subiectivă și lumea obiectivă. Indeterminismul ce aparține fizicii cuantice este un indeterminism subiectiv. El trebuie să fie legat de ceva, altfel indeterminismul n-are nici un sens; și aici el se leagă de propria noastră incapacitate de a urmări traiectoriile atomilor individuali și de a prevedea comportarea lor.[1] A spune că sosirea unui tren la Berlin este nedeterminată înseamnă a spune un non-sens dacă nu spui în raport cu ce este nedeterminată. Dacă trenul sosește, sosirea e determinată de ceva. Același lucru este valabil despre traiectoriile atomilor.

Murphy: În acest sens deci aplici dumneata naturii determinismul? În sensul că orice eveniment din natură provine dintr-un alt eveniment, pe care îl numim cauza lui?

Einstein: Nu mi-aș formula ideea chiar în acești termeni. În primul rînd, cred că neînțelegerile care se întîlnesc în problema cauzalității se datorează în bună parte formulării prea rudimentare a principiului cauzalității, aflată în circulație pînă în prezent. Cînd Aristotel și scolasticii au definit ceea ce ei înțelegeau prin cauză, ideea de experiment obiectiv în sens științific nu apăruse încă. Așa se face că ei s-au mulțumit cu definirea conceptului metafizic de cauză. Același lucru este adevărat despre Kant. Newton însă pare a-și fi dat seama că această formulare preștiințifică a principiului cauzal avea să se

[*] Legitate (*n.t.*).

dovedească insuficientă pentru fizica modernă. Și el s-a mulțumit să descrie ordinea regulată în care se petrec evenimentele în natură și să construiască sinteza sa pe bază de legi matematice. În ce mă privește, cred că evenimentele din natură sînt controlate de legi mult mai stricte și mai inflexibile (*closely binding*) decît ne închipuim astăzi cînd spunem că un eveniment este *cauza* unui alt eveniment. Acest concept al nostru este limitat la ceva ce se petrece înăuntrul unei secțiuni temporale, fiind rupt de procesul întreg.[2] Această aplicare *grosso modo* a principiului cauzal este cît se poate de superficială. Sîntem ca un copil care judecă un poem după rimă, neștiind nimic despre structura ritmică. Sau ca un învățăcel la pian, care abia izbutește să lege o notă de cea imediat anterioară sau următoare. Pînă la un punct, aceasta poate să fie foarte bine cînd avem de-a face cu compoziții foarte simple și primitive; dar nu mai merge în interpretarea unei fugi de Bach. Fizica cuantică ne-a adus în față procese foarte complexe și, pentru a le putea înțelege, trebuie să lărgim și să mai rafinăm conceptul nostru de cauzalitate.

Murphy: Ar fi o treabă ingrată, fiindcă ai fi în răspăr cu moda. Dacă-mi dai voie, aș cuvînta și eu puțin, nu atît fiindcă-mi place să mă aud vorbind, deși îmi place și asta — care-i irlandezul să nu-i placă? —, cît pentru că vreau să aflu reacțiile dumitale la ceea ce voi spune.

Einstein: *Gewiss*[*].

Murphy: Grecii au făcut din lucrarea fatalității sau a destinului baza dramei lor; iar drama era pe atunci o expresie liturgică a conștiinței care percepe într-un mod profund irațional. Nu era o simplă discuție, ca într-o piesă de Bernard Shaw. Vă amintiți de tragedia lui *Atreu*, unde fatalitatea sau șirul ineluctabil de cauze și efecte este singurul fir simplu de care atîrnă drama.

Einstein: Fatalitatea sau destinul nu sînt același lucru cu cauzalitatea.

---

[*] Firește (*n.t.*).

Murphy: Știu asta. Dar oamenii de știință trăiesc în lume la fel ca ceilalți oameni. Unii din ei se duc la întruniri politice și la teatru și aproape toți cei pe care eu îi cunosc, cel puțin aici în Germania, citesc literatura curentă. Ei nu se pot sustrage influenței mediului* în care trăiesc. Iar pentru acest mediu este în prezent foarte caracteristică lupta de eliberare din lanțul cauzal în care este prinsă lumea.

Einstein: Dar n-a luptat omenirea totdeauna pentru a se elibera din acest lanț cauzal?

Murphy: Da, însă nu asta ne interesează pentru ceea ce vreau să spun. Oricum, mă îndoiesc că politicianul meditează vreodată la consecințele șirului cauzal pe care-l declanșează cu nebunia sa. El însuși este foarte agil și poate să se strecoare printre verigile lanțului. Macbeth n-a fost politician. Și tocmai de aceea nu i-a mers. El a înțeles că asasinatul s-ar putea să rămînă fără urmări pentru el. Numai că nu s-a gîndit cum să se smulgă din lanțul consecințelor înainte de a fi prea tîrziu. Și asta fiindcă nu era politician. Ceea ce vreau să spun este că în momentul de față există o recunoaștere universală a acestei înlănțuiri inexorabile. Oamenii înțeleg ceea ce le-a spus demult Bernard Shaw — lucrul, firește, a mai fost spus și înainte de nenumărate ori — cînd a scris *Cezar și Cleopatra*. Îți amintești cuvintele pe care le adresează Cezar reginei Egiptului după ce ordinul ei de ucidere a lui Pothinus a fost executat, cu toate că Cezar garantase că acesta va fi în siguranță.

„Îi auzi?", spune Cezar. „Toți aceștia, care bat la poarta ta, cred de asemenea în trădare și în ucidere. Le-ai omorît conducătorul; este drept ca, la rîndul lor, să te ucidă. Dacă te îndoiești cumva, întreabă pe acești patru sfetnici ai tăi, aici de față. Și apoi, în numele acestui «drept» […] nu va trebui eu să-i omor pentru că și-au asasinat regina, iar apoi să fiu omorît, la rîndul meu, de către concetățenii lor fiindcă le-am cotropit patria? Iar

* În original *milieu* (*n.t.*).

atunci Roma va putea face altceva decît să ucidă pe acești ucigași, spre a arăta lumii că Roma știe să-și răzbune fiii și onoarea? Și așa, pînă la capătul istoriei, asasinatul va zămisli asasinatul, întotdeauna în numele dreptului, al onoarei și al păcii, pînă cînd, în sfîrșit, zeii vor fi sătui de atîta sînge și vor crea o semințe care să știe ce înseamnă a înțelege.“*

Oamenii înțeleg astăzi acest adevăr îngrozitor — e drept, nu pentru că își dau seama că vărsarea de sînge naște vărsare de sînge, ci pentru că își dau seama că jefuindu-ți vecinul, te jefuiești pe tine însuți; căci jaful naște jaf, întocmai cum o vărsare de sînge naște alta. Așa-zișii învingători din război i-au jefuit pe învinși, iar acum observă că, făcînd așa, s-au jefuit pe ei înșiși. Așa se face că acum domnește pretutindeni sărăcia și suferința. Mulți oameni văd că așa stau lucrurile, dar n-au curajul să înfrunte acest adevăr, ci aleargă, ca Macbeth, la căldarea vrăjitoarei. În cazul de față știința este, din nefericire, unul din ingredientele ce se aruncă în căldare pentru a le da solventul căutat. În loc să recunoască deschis harababura, tragedia, crima, toată lumea vrea să-și dovedească inocența și caută dovada încercînd să găsească un alibi pentru consecințele propriilor fapte. Uită-te la acel cortegiu de flămînzi care vin zilnic la ușa ta să ceară pîine. Bărbați zdraveni, dornici să beneficieze de privilegiul omului de a munci. Alții ca ei defilează pe străzile Londrei, purtînd pe piept Medalii pentru Comportare Exemplară, strigînd să li se dea pîine. Același spectacol vezi la New York, Chicago, Roma și Torino. Insul comod ce șade în fotoliul său confortabil își zice: „Asta n-are nimic de-a face cu noi.“ O spune știind că nu acesta este adevărul. Apoi ia o carte de popularizare a fizicii și scoate un suspin de ușurare aflînd de acolo că natura nu

* Fragmentul din piesa lui Bernard Shaw este redat după traducerea în limba română (de Petru Comarnescu) apărută în colecția Biblioteca pentru toți, Editura pentru literatură, București, 1963, pp. 132–133 (*n.t.*).

cunoaște legea consecințelor. Ce vrei mai mult? Asta e Știința; iar Știința este corespondentul modern al religiei. Acest *bourgeois* comod al dumitale este cel care a înzestrat instituțiile și laboratoarele științifice. Și, orice ai spune, savanții n-ar fi oameni dacă nu s-ar împărtăși și ei, cel puțin inconștient, din același spirit.[3]

Einstein: *Ach, das kann man nicht sagen*.*

Murphy: Ba da. Avem tot dreptul s-o spunem. Îți amintești de imaginea pe care chiar dumneata ai zugrăvit-o odată a celor preocupați de ei înșiși în templul științei, oameni despre care admiți că au construit chiar o mare parte din edificiul ei, dar spui, pe de altă parte, că îngerul din ceruri i-a cruțat pe cîțiva. Înclin să cred că lupta științei constă actualmente în efortul de a feri schema ei de gîndire de confuzia pe care spiritul popular tinde s-o introducă în ea. Seamănă îndeaproape cu lupta pe care au dus-o vechii teologi. În Renaștere însă aceștia au cedat modei epocii și au introdus în știința lor idei și metode străine, ceea ce a dus în final la prăbușirea scolasticii.

Declinul scolasticii datează din momentul cînd mulțimea s-a apucat să alerge după filozofi și teologi. Amintește-ți cum lumea dădea năvală la Paris ca să-l asculte pe Abélard, deși este evident că nu putea să înțeleagă distincțiile lui. Lingușirea publică a contribuit mai mult la căderea lui decît simplele influențe private. Abélard n-ar fi fost om dacă nu ar fi fost ispitit să se creadă deasupra științei sale; și el a cedat ispitei. Nu sînt chiar atît de sigur că astăzi o seamă de savanți nu se găsesc în aceeași postură. Unele din plăsmuirile strălucitoare pe care ei le țes par foarte asemănătoare cu distincțiile sofistice ale decadenței scolastice.

Filozofii și teologii mai vechi erau conștienți de acest pericol și au căutat o cale de a-l contracara. Ei aveau corpurile lor de doctrină ezoterică ce erau dezvăluite numai celor inițiați. Același gen de protecție îl putem observa astăzi în alte ramuri ale culturii. Biserica catolică a

* Ah, asta nu se poate spune (*n.t.*).

procedat înțelept menținîndu-și ritualul și dogmele în formele și formulările unui limbaj pe care masa credincioșilor nu-l înțelege. Sociologii și experții financiari au un jargon pe care numai ei îl pricep și care le permite să nu-și divulge secretele. Într-un mod asemănător este susținută majestatea Legii, iar arta medicală n-ar putea supraviețui dacă ar prescrie medicamentele și ar descrie bolile în limbajul de fiecare zi. Dar toate acestea nu contează, fiindcă nici una din aceste științe sau arte sau meșteșuguri nu este vitală. Știința fizicii este organic vitală în momentul de față și din acest motiv pare a suferi de…

Einstein: Nimic nu mi se pare însă mai contestabil decît ideea unei științe făcute pentru oamenii de știință. Este ceva aproape la fel de rău ca o artă făcută pentru artiști sau ca o religie făcută pentru preoți. Neîndoielnic că este ceva în ceea ce spui. Și cred că obiceiul azi la modă de a aplica axiomele științei fizice la viața umană este nu numai total greșit, dar are în el ceva condamnabil. Găsesc că problema cauzalității, despre care se discută azi în fizică, nu este un fenomen nou în domeniul științei. Metoda folosită astăzi în fizica cuantică a trebuit mai demult să fie aplicată în biologie, pentru că procesele biologice din natură nu puteau fi urmărite în așa fel încît conexiunea lor să fie clară și din acest motiv regulile biologice au avut întotdeauna un caracter statistic. Și nu înțeleg de ce ar trebui stîrnită atîta zarvă dacă se impune o restrîngere a principiului cauzalității în fizica modernă, de vreme ce o asemenea situație nu e cîtuși de puțin nouă.[4]

Murphy: Firește că nu este o situație nouă; dar în prezent știința biologică nu e atît de vitală cum este știința fizică. Pe oameni nu-i mai preocupă atît de mult dacă descindem sau nu din maimuțe, cu excepția unor pasionați de regnul animal, care consideră că prin ideea descendenței omului din maimuță se face o mare nedreptate maimuțelor. Nu mai există astăzi acel interes public pentru biologie de pe vremea lui Darwin și Huxley. Centrul de greutate al interesului public s-a deplasat spre fizică. Acesta e motivul pentru care publi-

cul reacționează în felul său la orice nouă formulare din fizică.

Einstein: Sînt întru totul de acord cu prietenul nostru Planck în privința poziției adoptate față de acest principiu, dar trebuie să-ți amintești ce-a spus și a scris Planck. El admite imposibilitatea de a aplica, în actuala stare de lucruri, principiul cauzal la procesele interne din fizica atomică; dar este hotărît împotriva tezei că din această *Unbrauchbarkeit* sau inaplicabilitate ar trebui să conchidem că procesul cauzării nu există în realitatea externă. De fapt, Planck n-a adoptat în această din urmă chestiune un punct de vedere deplin formulat. El a contrazis doar susținerile emfatice ale unora din teoreticienii mecanicii cuantice, și eu sînt întru totul de acord cu el. Iar cînd dumneata îmi citezi oameni care vorbesc de liber arbitru în natură, îmi vine greu să găsesc o replică potrivită. Ideea e, firește, absurdă.

Murphy: Îmi închipui deci că ai fi de acord că fizica nu oferă nici un fel de temeiuri pentru această aplicare extraordinară a ceea ce pentru comoditate am putea numi principiul indeterminării.

Einstein: Firește că sînt de acord.

Murphy: Totuși știi că anumiți fizicieni englezi de foarte mare prestigiu și care se bucură totodată de o mare popularitate au susținut în mod energic ceea ce dumneata și Planck, ca și mulți alții, numiți concluzii neîntemeiate.[5]

Einstein: Trebuie să faci deosebire între fizician și *littérateur* atunci cînd cele două profesii se îmbină în aceeași persoană. Voi aveți în Anglia o mare literatură engleză și o mare disciplină a stilului.

Murphy: Literatura detestă acel *amor intellectualis* pentru adevărul logic, care pasionează pe omul de știință. Poate că omul de știință englez își schimbă culoarea în pajiștile literare pentru ca, asemeni omizii de pe frunză, să nu poată fi recunoscut.

Einstein: Ceea ce vreau să spun este că există în Anglia autori cu formație științifică și care în cărțile lor de

popularizare devin ilogici și romantici, pe cînd în munca lor științifică păstrează rigoarea raționamentului logic.

Ceea ce urmărește omul de știință este să obțină o descriere logic coerentă a naturii. Logica este pentru el ceea ce pentru pictor sînt legile proporției și ale perspectivei, iar eu cred, împreună cu Poincaré, că merită trudit pe tărîmul științei pentru că ea ne dezvăluie frumusețea naturii. Aș spune, legat de aceasta, că omul de știință își află răsplata în ceea ce Henri Poincaré numește bucuria înțelegerii și nu în aplicațiile la care poate să ducă o descoperire sau alta. Eu cred că omul de știință e mulțumit să construiască o imagine perfect armonioasă pe un eșafodaj matematic și este întru totul satisfăcut să lege între ele, prin formule matematice, diferitele ei părți fără a se întreba dacă și în ce măsură acestea sînt o dovadă că legea cauzalității acționează în lumea externă.

Murphy: Aș vrea, d-le profesor, să-ți atrag luarea-aminte asupra unui fenomen ce se produce uneori aici pe lac cînd faci plimbări cu iahtul dumitale. Firește, e un fenomen ce nu survine prea des pe apele liniștite ale lacului Caputh, fiindcă de jur împrejurul său e cîmpie și de aceea nu se stîrnesc pe neașteptate vijelii. Dacă te afli însă cu o barcă cu pînze pe unul din lacurile noastre din nord, riști oricînd să întîlnești un curent de aer neașteptat, a cărui rafală să te răstoarne. Vreau să sugerez prin asta că pozitivistul ar putea foarte lesne aici să te ia la ochi și să te surprindă între vînt și apă. Dacă spui că omul de știință se mulțumește să asigure constructului său mental armătura logicii matematice, vei fi citat numaidecît în sprijinul idealismului subiectiv propagat de oameni de știință moderni de felul lui Sir Arthur Eddington.

Einstein: Dar ar fi ridicol.

Murphy: Desigur că ar fi o concluzie neîntemeiată; numai că în presa britanică ai fost deja frecvent citat ca adept al teoriei după care lumea externă e un derivat al conștiinței. A trebuit să atrag atenția asupra acestui fapt unui prieten de-al meu din Anglia, dl Joad, care a scris o foarte izbutită carte intitulată *Aspectele filozofice ale*

științei. Cartea polemizează cu atitudinile adoptate de Sir Arthur Eddington și Sir James Jeans, iar numele dumitale este menționat printre cei ce sprijină teoriile lor.

Einstein: Nici un fizician nu gîndește așa. Pentru că atunci n-ar fi fizician. Nu gîndesc așa nici fizicienii pe care i-ai menționat. Trebuie să faci deosebire între modă literară și rostire științifică. Acești oameni sînt savanți autentici, iar formulările lor literare nu trebuie considerate drept expresii ale convingerilor lor științifice. De ce s-ar mai osteni cineva să scruteze stelele dacă n-ar crede că ele există cu adevărat.[6] Aici sînt în întregime de acord cu Planck. Nu putem dovedi logic existența lumii externe, întocmai cum dumneata nu poți dovedi logic că eu stau acum de vorbă cu dumneata sau că mă aflu aici. Dar știi bine că mă aflu aici și nici un idealist subiectiv nu te va putea convinge de contrariul.

Murphy: Această chestiune a fost integral elucidată cu mult timp în urmă, de către scolastici, și nu mă pot împiedica să cred că lumea ar fi fost scutită de o bună parte din confuzia apărută în secolul al nouăsprezecelea și care dăinuie și astăzi, dacă în secolul al șaptesprezecelea nu s-ar fi produs o ruptură atît de adîncă cu tradiția filozofică. Scolasticii au soluționat foarte clar problema fizicianului modern spunînd despre imaginile mentale ale realității externe că există *fundamentaliter in re, formaliter in mente*.

Nu-mi mai amintesc cum s-a întrerupt discuția asupra acestei probleme. În stenogramă, alineatul următor începe cu PLANCK*.

---

* Ultimele cîteva pagini din originalul „dialogului socratic" cuprind o discuție între Planck și Murphy, fără o legătură directă cu opiniile exprimate pînă aici de Einstein. De aceea nu le-am tradus pentru volumul de față (*n.t.*).

NOTE

1. Acest text exprimă, poate mai clar și mai net decît oricare altul, punctul de vedere al lui Einstein în mult discutata problemă a determinismului cuantic. Determinismul strict pare să fie pentru Einstein o idee regulativă pe care nu o poate clinti nici o experiență. El nu crede că relațiile de nedeterminare ale lui Heisenberg ar impune reconsiderarea concepției statornicite asupra determinismului naturii. O abatere de la determinismul strict, ceea ce se desemnează de obicei prin termenul *indeterminism*, nu poate fi niciodată o trăsătură a naturii. „Indeterminiștii" ar transfera asupra naturii anumite insuficiențe temporare ale cunoașterii noastre despre natură. Punctul de vedere susținut de Einstein în acest text este un punct de vedere în esență laplacean.

2. Determinarea evenimentelor fizice prin legi de cîmp este caracterizată drept una mai „strictă" decît cea pe care o exprimă principiul comun al cauzalității. Autorul crede de asemenea că determinarea evenimentelor prin legi de cîmp este mai cuprinzătoare decît acea determinare pe care o exprimă o relație cauzală între două evenimente ce se succedă în timp.

3. Această explicație a reacției negative a mediului cultural al vremii față de ideea universalității determinării cauzale aduce aminte de o încercare mai recentă de a explica tendința unor fizicieni de a slăbi principiul determinismului ca rezultat al influenței unei mișcări de idei care s-a impus în Germania după primul război mondial. Într-un mult discutat articol al lui P. Forman, *Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918–1927*, publicat în 1971, indeterminismul în mecanica cuantică este pus în relație cu tendințele iraționaliste ce dominau atmosfera spirituală a epocii. Forman susține că ofensiva curentului de gîndire mistic și romantic al vremii împotriva spiritului științific, considerat drept mecanicist și raționalist, s-a concentrat asupra principiului cauzalității. El apreciază că interpretarea statistică a mecanicii cuantice ar putea fi înțeleasă mai bine drept o concesie făcută de fizicieni tendinței iraționaliste dominante. „Deși acordul de a vedea procesele atomice ca implicînd un «eșec al cauzalității» s-a dovedit și a rămas o abordare fertilă — scrie Forman — înainte de introducerea unei mecanici cuantice raționale acauzale, tendința de a renunța la cauzalitate exprimă mai puțin un program de cercetare cît o propunere de a sacrifica fizica, de fapt întreprinderea științifică, *Zeitgeist*-ului (spiritul timpului)." (Vezi *Historical Studies in the Physical Science*, nr. 3, p. 112.)

4. Acest pasaj arată clar cît de departe mergea Einstein în contestarea noutății situației conceptuale create în fizică prin formularea relației de nedeterminare. El considera că aici, ca și în alte

cazuri, formularea unei regularități cu caracter statistic suplinește imposibilitatea de a descrie situația reală prin legi stricte.

5. Este o aluzie clară la lucrări de filozofia științei, destinate unui public larg, care au fost publicate în acea vreme de cunoscuții oameni de știință englezi A. Eddington și J. Jeans. Pe marginea lor se discuta foarte mult în anii cînd a avut loc această convorbire.

6. Einstein exprimă deosebit de clar opinia că orice cercetător al naturii este în mod spontan un realist, în sensul că atribuie obiectelor cercetării o existență independentă de experiență. Este îndoielnic însă că Eddington și Jeans ar fi susținut ca scriitori lucruri în care nu credeau cîtuși de puțin ca cercetători ai naturii, așa cum afirmă Einstein. În acest text Einstein formulează probabil pentru prima dată aderența sa fără echivoc la concepția realistă apărată în acel timp de Planck, o temă care va ocupa un loc tot mai însemnat în reflecțiile filozofice din ultima perioadă a vieții sale. Lui M. Solovine, Einstein îi scria la 10 aprilie 1938: „Tot astfel cum în vremea lui Mach domina într-un mod dăunător un punct de vedere materialist dogmatic, în zilele noastre domină într-un mod excesiv punctul de vedere subiectivist și pozitivist.“ (*op.cit*., p. 71). Einstein socotea că se impune combaterea acestei tendințe în primul rînd deoarece ea amenință dezvoltarea sănătoasă a gîndirii științifice.

DESPRE METODA FIZICII TEORETICE

Dacă doriți să învățați de la fizicienii teoreticieni ceva despre metodele pe care le folosesc, vă propun să urmați principiul: nu le ascultați cuvintele, observați faptele lor.[1] Deoarece produsele propriei sale imaginații îi apar celui care este un creator în acest domeniu atît de necesare și naturale încît el le consideră — și ar dori ca și alții să le considere tot astfel — nu ca plăsmuiri ale gîndirii, ci ca realități date.

Aceste cuvinte par menite să vă determine să părăsiți această conferință; veți spune: cel care vă vorbește este și el un fizician ce construiește; de aceea ar trebui și el să lase reflecția asupra structurii științei teoretice în seama epistemologilor.

Împotriva unei asemenea obiecții m-aș putea apăra dintr-un punct de vedere personal, asigurîndu-vă că nu a fost o inițiativă a mea, ci o invitație amabilă de a urca la această catedră dedicată memoriei unui om care a luptat întreaga viață pentru unitatea cunoașterii. Din punct de vedere obiectiv, strădania mea ar putea fi justificată totuși prin interesul pe care l-ar putea prezenta cunoașterea modului în care gîndește asupra științei sale unui om care o viață întreagă și-a consacrat toate forțele clarificării și perfecționării principiilor ei. Modul în care el privește trecutul și prezentul acestei științe poate să depindă prea mult de ceea ce el așteaptă de la viitor și aspiră să realizeze în prezent; dar aceasta este soarta inevitabilă a oricărui om angajat intens într-o lume a ideilor. El se află în aceeași situație cu istoricul, care, de

asemenea, ordonează evenimentele reale — chiar dacă, poate, inconștient — conform idealurilor pe care și le-a format cu privire la societatea umană.[2]

Să aruncăm o privire rapidă asupra dezvoltării sistemului teoretic, concentrîndu-se atenția asupra relației dintre conținutul teoriei și totalitatea faptelor experienței. Aveam de-a face — în propriul nostru domeniu — cu eterna opoziție între cele două componente inseparabile ale cunoașterii, empiria și rațiunea.

Cu toții admirăm Grecia antică drept leagăn al științei apusene. Acolo, pentru prima oară a fost creat miracolul rațional al unui sistem logic ale cărui enunțuri se deduceau cu atîta precizie încît nici una dintre propozițiile demonstrate nu admitea nici cea mai mică îndoială — geometria lui Euclid. Acest triumf admirabil al rațiunii i-a dat spiritului uman încrederea în sine necesară pentru realizările ulterioare. Cel care, în tinerețea sa, n-a fost entuziasmat de această operă nu s-a născut pentru a deveni om de știință teoretician.

Dar, pentru a fi la nivelul unei științe ce năzuiește să reprezinte realitatea, era nevoie de o a doua cunoștință fundamentală, care, pînă la Kepler și Galilei, nu devenise încă un bun comun al filozofilor. Prin simpla gîndire logică nu putem dobîndi nici o cunoaștere asupra lumii experienței; orice cunoaștere a realității pornește de la experiență și se împlinește în ea. Propozițiile obținute exclusiv prin mijloace logice sînt, în raport cu realitatea, complet vide. Tocmai pentru că a recunoscut acest fapt și, în special, pentru că l-a impus în lumea științei, Galilei a devenit fondatorul fizicii moderne, ba chiar al științei moderne în general.[3]

Dacă experiența este începutul și sfîrșitul întregii noastre cunoașteri privitoare la realitate, ce funcție îi revine atunci rațiunii în știință?

Un sistem încheiat al fizicii teoretice este alcătuit din concepte, legi fundamentale, presupuse a fi valabile pentru aceste concepte și din concluzii obținute prin deducție logică. Tocmai aceste concluzii sînt cele care

trebuie să corespundă experienţelor noastre individuale. Derivarea lor logică ocupă cea mai mare parte din oricare tratat teoretic.

Lucrurile stau exact la fel ca în geometria euclidiană, cu excepţia faptului că aici legile fundamentale se cheamă axiome şi nu se pune problema corespondenţei consecinţelor logice ale teoriei cu vreun gen determinat de experienţă. Dacă vom concepe însă geometria euclidiană ca ştiinţă a relaţiilor reciproce posibile ale corpurilor practic rigide în spaţiu, cu alte cuvinte, dacă o interpretăm ca ştiinţă fizică, fără a face abstracţie de conţinutul ei empiric originar, omogenitatea logică a geometriei şi fizicii teoretice devine completă.

Am atribuit raţiunii şi experienţei locul lor determinat în cadrul sistemului fizicii teoretice. Structura sistemului este opera raţiunii, datele experienţei şi relaţiile lor reciproce trebuie să-şi găsească reprezentarea în concluziile teoriei. Tocmai pe posibilitatea unei asemenea reprezentări se întemeiază valoarea şi justificarea întregului sistem şi, în mod special, valoarea conceptelor şi legilor fundamentale care alcătuiesc baza sa. Acestea din urmă sînt de altfel creaţii libere ale spiritului uman, care nu pot fi justificate *a priori* nici prin natura spiritului uman, nici în vreo altă modalitate.

Aceste concepte şi legi fundamentale, care nu pot fi mai departe reduse logic, constituie partea esenţială a unei teorii, care nu poate fi concepută pe cale raţională. Obiectivul principal al oricărei teorii este să facă din aceste elemente fundamentale ireductibile pe cît posibil o mulţime minimă de elemente simple, fără a se renunţa astfel la reprezentarea adecvată a vreunui dat empiric oarecare.

Concepţia pe care am schiţat-o aici cu privire la caracterul de pură invenţie al principiilor teoriei ştiinţifice nu era nici pe departe cea dominantă în secolul al XVIII-lea, nici chiar în secolul al XIX-lea. Dar ea cîştigă din ce în ce mai mult teren prin faptul că distanţa raţională între conceptele şi legile fundamentale, pe de o parte, şi, pe de altă parte, concluziile pe care trebuie să le punem în ra-

port cu experiența crește mereu, pe măsură ce structura logică devine mai unitară, cu alte cuvinte, cu cît este mai mic numărul elementelor conceptuale logic independente pe care se întemeiază structura întregului sistem.[4]

Newton, primul creator al unui sistem cuprinzător și efectiv al fizicii teoretice, încă mai credea că noțiunile și legile de bază ale sistemului său ar putea fi derivate din experiență. *Dictum*-ul său, *hypotheses non fingo*, poate fi înțeles, probabil, în acest sens.

De fapt, în acea vreme, conceptele de spațiu și timp nu păreau să aibă ceva problematic, iar conceptele de masă, inerție și forță și corelația lor legică păreau a fi scoase direct din experiență. De îndată ce este admisă această bază, expresia forței gravitației apărea ca derivată nemijlocit din experiență, și același lucru era de așteptat și pentru alte forțe.

Din formularea lui Newton putem deduce că ideea de spațiu absolut, care includea în sine și pe aceea de repaus absolut, i-a creat dificultăți; el era conștient de faptul că, în experiență, nimic nu părea să corespundă acestui ultim concept. De asemenea, s-a simțit stînjenit de introducerea unor forțe care acționează la distanță. Dar succesul practic enorm al teoriei sale l-a împiedicat, ca și pe fizicienii secolelor al XVIII-lea și al XIX-lea, să accepte caracterul fictiv al principiilor sistemului său.

Dimpotrivă, majoritatea fizicienilor din acea epocă erau pătrunși de ideea că noțiunile de bază și legile fundamentale ale fizicii n-ar fi, din punct de vedere logic, creații libere ale spiritului uman, ci că ar putea fi deduse din experiență prin „abstracție", adică pe o cale logică. Recunoașterea clară a caracterului eronat al acestei concepții a venit doar o dată cu teoria generală a relativității, deoarece aceasta a arătat că se poate explica domeniul respectiv de fapte ale experienței, și anume într-o modalitate mai satisfăcătoare și completă, pe o bază cu totul diferită de cea newtoniană. Dar, lăsînd cu totul la o parte problema superiorității uneia sau alteia dintre teorii, caracterul fictiv al principiilor fundamentale devine pe

deplin evident din faptul că putem prezenta două principii esențial diferite, ambele fiind în mare măsură în acord cu experiența. Aceasta dovedește în același timp că orice încercare de a deduce logic conceptele de bază și legile fundamentale ale mecanicii din experiențe elementare este sortită eșecului.

Dar dacă e adevărat că baza axiomatică a fizicii teoretice nu poate fi derivată din experiență, ci trebuie inventată în mod liber, mai putem noi oare spera în general să găsim calea cea corectă? Sau această cale corectă nu există decît în imaginația noastră? Putem oare spera în general a fi ghidați în mod sigur de experiență, atunci cînd există teorii (cum este mecanica clasică) care concordă cu experiența într-o mare măsură, chiar dacă n-au pătruns pînă la temeiul lucrurilor?[5] La aceasta răspund cu toată încrederea că există, după părerea mea, calea corectă și că noi sîntem în stare s-o găsim. De altfel, după experiența de pînă acum sîntem îndreptățiți să credem că natura este o realizare a celor mai simple idei matematice pe care le putem imagina. Convingerea mea este că putem descoperi cu ajutorul unor construcții pur matematice acele concepte și acele corelații legice dintre ele care ne oferă cheia înțelegerii fenomenelor naturale. Experiența ne poate sugera concepte matematice utile; dar în nici un caz acestea nu pot fi deduse de ea. Experiența rămîne, desigur, singurul criteriu al utilității unei construcții matematice pentru fizică. Principiul propriu-zis creator se află însă în matematică.[6] Într-un anumit sens, consider așadar adevărat faptul că gîndirea pură este aptă să pătrundă realul, așa cum au visat anticii.

Pentru a justifica această încredere sînt obligat să folosesc concepte matematice. Lumea fizică va fi reprezentată printr-un continuu cvadridimensional. Dacă vom accepta că aceasta are o metrică riemanniană și vom căuta cele mai simple legi pe care le poate satisface o asemenea metrică, vom ajunge la teoria relativistă a gravitației în spațiul vid. Dacă în acest spațiu vom lua un cîmp de vectori, respectiv cîmpul de tensori antisimetrici care

se poate deduce din el și ne vom întreba care sînt cele mai simple legi pe care le poate satisface un asemenea cîmp, vom ajunge la ecuațiile lui Maxwell ale spațiului vid.

Aici ne lipsește încă o teorie pentru acele părți ale spațiului în care densitatea electrică nu se anulează. L. de Broglie a propus ipoteza unui cîmp de unde care a putut fi aplicată la interpretarea anumitor proprietăți cuantice ale materiei. Dirac a găsit în spinorii săi mărimi de cîmp de un gen nou, ale căror ecuații foarte simple ne permit într-o mare măsură să deducem proprietățile electronului. Eu am descoperit, împreună cu colaboratorul meu, că acești spinori reprezintă un caz particular al unui tip de cîmp, legat matematic cu un sistem cvadridimensional, pe care l-am desemnat prin expresia „semivectori". Cele mai simple ecuații la care pot fi supuși acești semivectori oferă o cheie pentru înțelegerea existenței celor două genuri de particule elementare, cu mase ponderabile diferite și cu sarcini electrice egale, dar de semn contrar. Acești semivectori sînt, după vectorii obișnuiți, cele mai simple structuri de cîmp matematice care sînt posibile într-un continuu metric cu patru dimensiuni, și s-ar părea că ei descriu, într-o modalitate naturală, anumite proprietăți esențiale ale particulelor electrice elementare.

Pentru felul nostru de a vedea lucrurile este important că toate aceste construcții și legile care le corelează pot fi obținute conform principiului căutării celor mai simple concepte matematice și a legăturilor dintre ele. Pe ideea limitării varietății tipurilor de cîmpuri simple matematic existente și a ecuațiilor simple care sînt posibile între ele se întemeiază speranța teoreticianului de a pătrunde rațional realul în toată profunzimea lui.

Punctul cel mai dificil al unei asemenea teorii de cîmp constă în momentul de față în înțelegerea structurii atomice a materiei și energiei. Teoria, în principiile sale, nu este una atomistă, în măsura în care operează exclusiv cu funcții continue de spațiu, în contrast cu mecanica clasică, al cărei element cel mai important, punctul material, justifică prin sine structura atomică a materiei.

Teoria cuantică modernă în forma asociată cu numele lui de Broglie, Schrödinger și Direc, care operează cu funcții continue, a depășit această dificultate printr-o ingenioasă interpretare formulată în mod clar mai întîi de Max Born. După aceasta, funcțiile spațiale care apar în ecuații nu pretind a fi un model matematic al unor structuri atomice; ele determină prin calcul doar probabilitățile pentru apariția unor asemenea structuri, dacă se efectuează măsurători într-un loc dat sau asupra unei stări date a mișcării. Această concepție este logic ireproșabilă și a dat naștere unor rezultate importante. Din păcate, ea ne obligă totuși să folosim un continuu cu un număr de dimensiuni diferit de cel atribuit spațiului de fizică pînă în prezent (patru), număr care crește nelimitat o dată cu numărul particulelor ce constituie sistemul considerat. Nu pot să nu recunosc că atribui doar o semnificație provizorie acestei interpretări. Eu cred încă în posibilitatea unui model al realității — cu alte cuvinte, a unei teorii care să reprezinte lucrurile însele și nu doar probabilitatea manifestării lor.[7]

Pe de altă parte, mi se pare cert că va trebui să abandonăm ideea unei localizări complete a particulelor într-un model teoretic. Aceasta mi se pare a fi rezultatul durabil al principiului de nedeterminare al lui Heisenberg. Dar, se poate concepe foarte bine o teorie atomistă în sensul propriu al cuvîntului (nu doar pe baza unei interpretări) fără localizarea particulelor într-un model matematic. De exemplu, pentru a explica natura atomică a electricității, ecuațiile de cîmp vor trebui să conducă la următoarele concluzii: o parte a spațiului (tridimensional), la limitele căruia densitatea electrică se anulează peste tot, conține întotdeauna o sarcină electrică totală a cărei mărime e reprezentată printr-un număr întreg. Într-o teorie a continuului caracteristicile atomice vor fi exprimate în mod satisfăcător prin legi integrale fără localizarea acelor construcții ce constituie structura atomică.

Numai atunci cînd o asemenea reprezentare a structurii atomice va reuși, voi considera dezlegat misterul cuantic.

NOTE

1. Einstein sugerează că poate exista o nepotrivire între semnificația generală a activității unui creator de știință teoretică și concepțiile sale metodologice. Mari fizicieni creatori din secolele trecute, în frunte cu Newton, au susținut că teoriile lor ar fi derivate din fapte prin inducție. Mai departe, Einstein arată că dezvoltarea științei teoretice în secolul nostru, în particular elaborarea teoriei generale a relativității ca o nouă teorie a gravitației, deosebită de cea a lui Newton, probează că teoriile fizice sînt inventate și nu pur și simplu descoperite de oameni.

2. Cercetătorul gîndește asupra naturii științei teoretice din perspectiva unor idealuri de cunoaștere și experiențe care pot să aibă un caracter destul de personal. Modul lui de a vedea știința nu va putea fi întotdeauna împărtășit de alți cercetători cu preferințe și experiențe diferite. Einstein compară această situație cu cea a unor istorici competenți și experimentați care ar putea reconstitui în moduri diferite același episod al trecutului dacă reprezentările lor spontane sau conștiente asupra obiectului cercetării istorice vor fi sensibil diferite. Einstein a avertizat nu o dată că reflecțiile sale asupra științei nu pot fi bine înțelese decît în contextul aspirațiilor și speranțelor care au orientat strădaniile sale ca cercetător al naturii, a ceea ce a putut învăța din succesele și eșecurile acestor strădanii. Vezi în această privință și *Observații asupra articolelor reunite în acest volum*, nota (19), precum și pasajul la care se referă această notă.

3. Punctul de vedere că recunoașterea necesității de a supune speculațiile teoretice despre natură controlului experienței ar distanța în primul rînd fizica galileană de fizica de tradiție aristotelică era general acceptat în epoca în care a fost scris acest text. O schimbare radicală de perspectivă în înțelegerea noutății și originalității concepției galileene asupra științei naturii s-a produs ulterior în istoria științei, îndeosebi sub influența lucrărilor de pionierat ale lui Alexandre Koyré.

4. Aceasta este una din cele mai clare formulări ale principiului simplității logice căruia Einstein îi acordă o mare greutate în aprecierea gradului de „perfecțiune internă a unei teorii". Vezi în acest sens și pasajul din *Note autobiografice* care se referă la criteriile interne de apreciere a teoriilor fizice, precum și postfața „Idealul cunoașterii și idealul umanist la Albert Einstein".

5. Exprimări de acest fel pot fi întîlnite nu o dată în scrierile lui Einstein. Ele semnalează distanțarea autorului de punctul de vedere potrivit căruia o teorie fizică va fi declarată „adevărată" de cîte ori se constată un acord sistematic al consecințelor derivate din ea cu faptele unui domeniu determinat al experienței. Din acest punct de vedere, două teorii fizice ale căror consecințe sînt confirmate sistematic de aceleași date de observație sau experimentale sînt în

egală măsură „adevărate“. Exprimarea atît de caracteristică a lui Einstein relevă că el privește teoriile fizice în primul rînd ca descrieri ale realității fizice, o realitate care există independent de construcțiile fizicianului teoretician. Dacă două teorii fizice au principii diferite, înseamnă că ele sînt descrieri diferite ale realității fizice. Teoria newtoniană și teoria relativistă a gravitației nu pot fi, așadar, în egală măsură „adevărate“, chiar dacă pot să dea socoteală de aceleași date ale observației astronomice. În raport cu prima teorie, care „n-a pătruns pînă la temeiul lucrurilor“, teoria generalizată a relativității va fi apreciată drept o descriere mai adecvată a realității fizice.

6. Acest pasaj oferă o indicație importantă cu privire la felul în care vedea Einstein rolul gîndirii matematice în înaintarea spre o cunoaștere mai adecvată a realității fizice. Dacă adoptăm supoziția că structurile fundamentale, de adîncime, ale lumii sînt simple, atunci considerații formale, de simplitate matematică, ne pot conduce spre descoperirea acestor structuri.

7. Einstein afirmă clar că aderența lui necondiționată la o concepție de tip clasic asupra teoriei ca descriere a realității fizice îl determină să nu accepte teoria cuantică, în interpretarea ei curentă, ca o teorie fizică fundamentală. Programul lui Einstein a fost, după cum se știe, deducerea efectelor cuantice din legile unei teorii generale a cîmpului care descriu un spațiu cu patru dimensiuni.

OBSERVAȚII ASUPRA TEORIEI CUNOAȘTERII A LUI BERTRAND RUSSELL*

Cînd editorul mi-a solicitat să scriu ceva despre Bertrand Russell, admirația și respectul pe care le port acestui autor m-au făcut să accept de îndată. Datorez lecturii lucrărilor lui Russell nenumărate ceasuri fericite, ceea ce n-aș putea spune despre nici un alt autor contemporan de lucrări științifice, cu excepția lui Thorstein Veblen. Curînd am înțeles însă că o asemenea promisiune este mai ușor de făcut decît de împlinit. Promisesem să spun ceva despre Russell ca filozof și epistemolog. Apucîndu-mă, încrezător, de această sarcină, mi-am dat repede seama pe ce teren alunecos mă aventuram, ca un novice, care pînă acum se limitase prudent la domeniul fizicii. Fizicianul este nevoit, din pricina dificultăților actuale ale științei sale, să se confrunte cu probleme filozofice într-o măsură mai mare decît a fost cazul cu generațiile anterioare. Deși aici n-am să vorbesc despre aceste dificultăți, reflecția asupra lor este mai cu seamă cea care m-a condus la punctul de vedere schițat în cele ce urmează.

În evoluția gîndirii filozofice de-a lungul secolelor, un rol major l-a jucat întrebarea: „Ce fel de cunoștințe poate să ofere gîndirea pură, indiferent de impresiile senzoriale? Există asemenea cunoștințe? Iar dacă nu, în ce relație stă cunoașterea noastră cu materialul pe care-l

* *Bemerkungen zu Bertrand Russells Erkenntnistheorie* (tipărită împreună cu traducerea engleză făcută de P. A. Schilpp sub titlul *Remarks on Bertrand Russell's Theory of Knowledge*) în vol. *The Philosophy of Bertrand Russell*, ed. P. A. Schilpp, Tudor Publishing Co., New York, 1951, pp. 278–291 (*n.t.*).

oferă simțurile?“ Acestor întrebări și altor cîtorva strîns legate de ele le corespunde un haos imens de opinii filozofice. În desfășurarea acestor străduințe eroice, dar relativ infructuoase, se poate discerne totuși o tendință sistematică de evoluție, și anume un scepticism crescînd în privința oricărei încercări de a afla ceva pe calea gîndirii pure despre „lumea obiectivă“, despre lumea „lucrurilor“ ca opusă lumii simplelor „reprezentări și idei“. În paranteză fie spus, ghilimelele le-am folosit aici în felul filozofilor veritabili, pentru a introduce un concept nelegitim, pe care cititorul este rugat să-l îngăduie pentru moment, cu toate că e suspect în ochii poliției filozofice.

Credința că tot ce este demn de a fi cunoscut poate fi dobîndit pe calea simplei reflecții a fost aproape generală în perioada începuturilor filozofiei. A fost o iluzie pe care oricine o poate înțelege dacă lasă deoparte, pentru o clipă, tot ce a învățat din filozofia de mai tîrziu și din științele naturii; el nu se va mira de faptul că Platon atribuia un fel de realitate superioară „Ideilor“ față de lucrurile așa cum le cunoaștem în experiența senzorială. Și la Spinoza și, mai tîrziu încă, la Hegel, această prejudecată se pare că a fost forța stimulatoare care a jucat rolul principal. Cineva ar putea chiar să pună întrebarea dacă fără ceva din această iluzie s-ar putea în general edifica ceva măreț pe tărîmul gîndirii filozofice — noi însă nu ne vom pune această întrebare.

Față cu această iluzie mai aristocrată privind puterea de pătrundere nelimitată a gîndirii stă iluzia mai plebee a realismului naiv, după care lucrurile „sînt“ așa cum le percepem prin simțuri. Această iluzie domină viața cotidiană a oamenilor și animalelor; ea constituie și punctul de plecare al științelor, în special al științelor naturii.

Eforturile de depășire a acestor două iluzii nu sînt independente unul de altul. Depășirea realismului naiv a fost relativ simplă. În introducerea cărții sale *An Inquiry into Meaning and Truth*, Russell a concretizat acest proces în cuvinte de o admirabilă pregnanță:

„Pornim cu toții de la «realismul naiv», adică de la doctrina că lucrurile sînt ceea ce par că sînt. Credem că iarba e verde, că pietrele sînt tari și că zăpada e rece. Fizica ne arată însă că verdele ierbii, duritatea pietrelor și răceala zăpezii nu sînt acel verde, acea duritate și acea răceală pe care le știm din proprie experiență, ci sînt ceva mult diferit. Dacă e să dăm crezare fizicii, observatorul, cînd are impresia că observă o piatră, observă de fapt efectele pietrei asupra lui. Știința pare, astfel, a se război cu sine însăși: cînd urmărește cel mai mult să fie obiectivă, se vede plonjînd fără voie în subiectivitate. Realismul naiv duce la fizică, iar fizica — dacă e adevărată — arată că realismul naiv este fals. Prin urmare, realismul naiv, dacă e adevărat, este fals; deci este fals.“ (pp. 14–15)*

Lăsînd la o parte măiestria formulării, aceste rînduri spun ceva la care nu mă gîndisem niciodată înainte. La o privire superficială, modul de gîndire al lui Berkeley și Hume pare a sta în opoziție cu modul de gîndire al științelor naturii. Observația lui Russell din fragmentul citat dezvăluie însă o legătură: dacă Berkeley se sprijină pe faptul că noi nu sesizăm direct prin simțuri „lucrurile“ lumii exterioare, ci că doar evenimentele legate cauzal de prezența „lucrurilor“ ajung la organele noastre de simț, aceasta este o considerație ce-și dobîndește forța de convingere din încrederea pe care o avem în modul de gîndire fizic. Căci, dacă ne-am îndoi de modul de gîndire fizic chiar în privința trăsăturilor lui celor mai generale, nu ar exista nici o necesitate de a interpune între obiect și actul vederii ceva ce separă obiectul de subiect și face problematică „existența obiectului“.

Același mod de gîndire fizic și succesele lui practice au zdruncinat însă și încrederea în posibilitatea de a înțelege lucrurile și relațiile dintre ele prin simpla gîndire speculativă. Treptat și-a croit drum convingerea că toate cunoștințele despre lucruri sînt exclusiv rezultatul

* În textul original citatul e dat în engleză (*n.t.*).

prelucrării materialului brut furnizat de simțuri. În această formă generală (și enunțată anume întru cîtva vag), această propoziție este astăzi, probabil, unanim acceptată. Dar această convingere nu se bazează pe supoziția că cineva ar fi demonstrat imposibilitatea dobîndirii unor cunoștințe despre realitate pe calea speculației pure, ci pe faptul că numai calea empirică (în sensul precizat mai sus) s-a dovedit a fi sursa cunoașterii. Galilei și Hume au fost primii care au susținut acest principiu cu toată claritatea și fermitatea.

Hume a văzut că din materialul furnizat de simțuri nu pot fi dobîndite concepte pe care le considerăm esențiale, cum este, de exemplu, cel de conexiune cauzală. Această constatare l-a condus la o atitudine sceptică față de orice fel de cunoaștere. Cînd citești cărțile lui Hume, te cuprinde mirarea că după el atîția filozofi, între care unii de mare prestigiu, au putut să scrie atîtea obscurități și chiar să găsească pentru ele cititori recunoscători. Hume a influențat în mod durabil dezvoltarea celor mai buni filozofi de după el. Îl simți mereu prezent cînd citești analizele filozofice ale lui Russell, a căror perspicacitate și simplitate în expresie mi-au amintit adesea de Hume.[1]

Omul are o puternică năzuință spre cunoaștere asigurată. Tocmai de aceea a părut zdrobitor mesajul limpede al lui Hume că materialul brut furnizat de simțuri, singura sursă a cunoștințelor noastre, ne poate duce prin obișnuință la credință și așteptare, nu însă la cunoașterea unor relații legice, și cu atît mai puțin la înțelegerea lor. Atunci a apărut pe scenă Kant, cu o idee care, deși este cu siguranță de nesusținut în forma pe care i-a dat-o el, a însemnat un pas spre rezolvarea dilemei lui Hume: tot ce este de origine empirică în cunoaștere nu este niciodată cert (Hume). Dacă deci posedăm o cunoaștere certă, ea trebuie să-și aibă temeiul în rațiunea însăși. Acesta este cazul — după Kant — cu propozițiile geometriei și cu principiul cauzalității. Aceste cunoștințe și anumite altele sînt, așa zicînd, o parte a instrumentarului gîndirii și ca atare nu urmează a fi dobîndite abia din

datele simțurilor. (Altfel spus, ele sînt cunoștințe „a priori“.) Astăzi, firește, oricine știe că cunoștințele menționate n-au nimic din certitudinea, din necesitatea internă, pe care le-o atribuia Kant. Ceea ce mi se pare însă corect în felul cum a pus el problema este constatarea că noi facem uz de gîndire, cu anumită „îndreptățire“, de concepte la care nu se poate ajunge de la materialul oferit de experiența senzorială, dacă privim situația din punct de vedere logic.

În ce mă privește, sînt convins că trebuie să susținem chiar mult mai mult, și anume că toate conceptele care intervin în gîndirea și în exprimările noastre lingvistice sînt — vorbind din punct de vedere logic — creații libere ale gîndirii și nu pot fi dobîndite inductiv din experiențele senzoriale. Lucrul acesta nu este atît de ușor de observat numai pentru că sîntem obișnuiți să legăm în mod atît de strîns anumite concepte și combinații de concepte (propoziții) cu anumite experiențe senzoriale, încît nu devenim conștienți de prăpastia — de netrecut din punct de vedere logic — ce desparte lumea trăirilor senzoriale de cea a conceptelor și propozițiilor.

Astfel, de exemplu, șirul numerelor întregi este evident o invenție a spiritului uman, un instrument creat de om care înlesnește ordonarea anumitor experiențe senzoriale. Pe nici o cale însă acest concept nu s-ar putea cristaliza din experiența senzorială. Am ales aici conceptul de număr, fiindcă el aparține gîndirii preștiințifice și, cu toate acestea, este ușor de recunoscut caracterul lui constructiv. Cu cît ne adresăm însă mai mult conceptelor celor mai primitive din viața de toate zilele, cu atît masa obișnuințelor înrădăcinate ne îngreunează mai mult recunoașterea în concept a unei creații de-sine-stătătoare a gîndirii. Așa se face că a putut să apară concepția — nefastă pentru înțelegerea relațiilor existente aici — după care conceptele s-ar degaja din experiență prin „abstractizare“, adică prin omiterea unei părți a conținutului acesteia.[2] Vreau să arăt acum de ce mi se pare atît de nefastă această concepție.

O dată ce ți-ai însușit critica lui Hume, ajungi ușor la ideea că toate acele concepte și propoziții care nu pot fi derivate din materialul senzorial ar trebui înlăturate din gîndire ca fiind „metafizice". Căci orice gîndire își primește conținutul material numai prin legătura sa cu acest material senzorial. Această din urmă aserțiune o consider întru totul adevărată, dar consider greșită prescripția formulată, pe baza ei, pentru gîndire. Fiindcă, dacă ar fi aplicată cu consecvență, această prescripție ar exclude absolut orice gîndire ca fiind „metafizică".

Pentru ca gîndirea să nu degenereze în „metafizică", respectiv în vorbărie găunoasă[3], este necesar doar ca un număr suficient de mare de propoziții ale sistemului conceptual să fie legate îndeajuns de strîns de experiențele senzoriale și ca sistemul conceptual, dată fiind sarcina sa de a ordona și a permite cuprinderea conținuturilor sensibile, să posede o cît mai mare unitate și economicitate cu putință. În rest însă, „sistemul" este (din punct de vedere logic) un joc liber cu simboluri după reguli adoptate în mod arbitrar (din punct de vedere logic). Toate acestea sînt valabile deopotrivă pentru gîndirea din viața de toate zilele, ca și pentru gîndirea mai conștient-sistematic-structurată din domeniul științei.

Acum va fi clar ce am în vedere spunînd următoarele: prin critica sa clară, Hume nu a marcat numai un avans decisiv în filozofie, ci a creat totodată — fără vina sa — un pericol pentru filozofie, prin aceea că, pe baza criticii sale, a luat naștere o nefastă „teamă de metafizică", devenită o boală a filozofiei empiriste contemporane; această boală constituie replica acelei filozofări nebuloase de odinioară care credea că se poate dispensa de datele senzoriale și că le poate neglija.[4]

Cu toate admirația pe care o am pentru analiza pătrunzătoare pe care ne-a dăruit-o Russell în ultima sa carte, *Meaning and Truth*, mi se pare totuși că și aici spectrul temerii de metafizică a pricinuit unele pagube. Mi se pare, bunăoară, că teama de metafizică este cea care i-a sugerat autorului să conceapă „lucrul" ca un

„mănunchi de calități", aceste „calități" urmînd să fie luate din materialul senzorial. Faptul că două lucruri sînt unul și același lucru, dacă toate calitățile lor sînt identice, impune ca și relațiile geometrice dintre lucruri să fie incluse printre calitățile lor. (Altminteri am fi nevoiți să considerăm Turnul Eiffel din Paris și pe cel din New York ca fiind „același lucru".)* Contrar acestei poziții, eu nu văd nici un pericol „metafizic" în a lua lucrul (obiectul în sensul fizicii) ca pe un concept de-sinestătător în sistem, împreună cu structura spațio-temporală respectivă.

Legat de aceasta, m-am bucurat întîlnind în capitolul final constatarea că nu ne putem dispensa de „metafizică". Dacă mă nemulțumește ceva, este stînjeneala intelectuală care, în legătură cu aceasta, se face uneori simțită printre rînduri.[5]

NOTE

1. De cîte ori Einstein își exprimă prețuirea pentru un filozof, primul impuls îl constituie sentimentul că a putut învăța ceva important de la el. Din scrierile lui Hume, pe care le-a studiat în tinerețe în cadrul așa-numitului cerc *Olimpia*, împreună cu M. Solovine și C. Habicht, Einstein pare să fi desprins cîteva învățături care i-au orientat judecata, cu deosebire în problemele științei teoretice. Primul dintre ele este că realismul naiv nu poate fi susținut și că, din acest punct de vedere, experiența istorică a dezvoltării științelor naturii sprijină concluziile filozofilor empiriști. Al doilea învățămînt este că nici o cunoaștere despre realitate nu poate fi dobîndită și asigurată numai prin rațiune. În sfîrșit, citindu-l pe Hume, Einstein a înțeles mai bine că nu există condiții *a priori*, date o dată pentru totdeauna, ale cunoașterii prin experiență, necesități absolute ale gîndirii, ci numai forme de gîndire relativ adecvate pentru un domeniu determinat al experienței, care devin obișnuințe de gîndire adînc înrădăcinate ori de cîte ori cercetarea nu depășește o lungă perioadă de timp limitele acestui domeniu. Categoriile gîndirii fizice mecaniciste sînt tocmai asemenea forme ale gîndirii.

* Cf. B. Russell, *An Inquiry into Meaning and Truth*, pp. 119–120, cap. „Proper Names".

Einstein lasă clar să se înțeleagă că s-a apropiat mai mult de Hume decît de alți filozofi empiriști atras de sobrietatea și profunzimea analizelor sale, precum și de farmecul aparte al scrisului acestui autor. Am greși dacă am înțelege omagiul pe care îl aduce aici Einstein lui Hume crezînd că felul în care gîndește el asupra problemelor cunoașterii este cel al filozofului scoțian. Einstein recunoaște cu plăcere influența pe care au exercitat-o unele lecturi filozofice asupra modului său de a gîndi, dar indică în mod clar, atît în acest text, cît și în altele, că a ajuns în cele din urmă prin reflecție asupra propriei sale experiențe ca cercetător al naturii la un punct de vedere propriu. Acest punct de vedere prezintă convergențe parțiale cu mari orientări din teoria cunoașterii, dar se delimitează totodată în mod clar de marile tradiții filozofice.

2. În acest pasaj accentul cade pe critica tezei atît de familiare a empirismului tradițional, necritic, după care noțiunile iau naștere din datele simțurilor pe o cale logică, prin generalizare sau inducție. Ceea ce ne reține cu deosebire atenția este încercarea lui Einstein de a arăta de ce această idee ne apare atît de naturală și de familiară. Ori de cîte ori anumite noțiuni funcționează bine și o perioadă mai lungă de timp în coordonarea informațiilor pe care ni le dau simțurile ne permit să sistematizăm aceste informații și să anticipăm evenimentele viitoare, în primul rînd rezultatele acțiunilor noastre, se creează impresia că aceste noțiuni au luat naștere prin neglijarea trăsăturilor individuale și prin generalizarea a ceea ce este comun în informațiile despre stări și evenimente particulare furnizate de organele de simț. Nu este de mirare că această impresie este mai puternică în cazul noțiunilor gîndirii comune. Deși respinge aserțiunile specifice ale apriorismului kantian, Einstein apreciază că familiarizarea cu ideile filozofului german poate contribui în mod salutar la slăbirea autorității concepției inductiviste cu privire la originea și natura noțiunilor ce constituie cadrele generale ale gîndirii comune și științifice. Pentru o apreciere mai explicită a modului cum înțelegea Einstein, ca fizician teoretician, meritele teoriei cunoașterii a lui Kant, vezi și *Observații asupra articolelor reunite în acest volum*, cu deosebire pasajul indicat de nota (15).

3. Cum indică și ghilimelele, autorul folosește aici termenul *metafizică* într-un sens peiorativ, sensul în care termenul era folosit adesea în literatura filozofică și științifică de limbă engleză din acel moment.

4. În această a doua parte a textului Einstein se delimitează în mod clar de concepția empiristă asupra cunoașterii pentru care a găsit atîtea cuvinte de apreciere la începutul articolului. Teza că noțiunile gîndirii comune și științifice, în particular principiile științei teoretice, pot fi derivate prin abstractizare și generalizare din „materialul furnizat de simțuri“ i se pare în aceeași măsură greșită ca și

teza că am putea avea o cunoaștere despre realitate în mod *a priori*, adică independent de orice experiență.

5. Ceea ce Einstein numește aici „metafizică" este punctul de vedere că, prin concepte ce nu pot fi derivate din cunoștințe despre fapte particulare, care trec mult dincolo de ceea ce ne este dat prin simțuri, putem ajunge la cunoștințe tot mai adecvate despre existența reală. Acest fel de a vedea lucrurile îi apare drept premisă a activității omului de știință teoretică. Pentru Einstein atitudinea reticentă și chiar negativă față de gîndirea constructivă pe care o generează „teama de metafizică" este tot atît de potrivită spiritului cunoașterii științifice ca și speculațiile ce se sustrag în principiu controlului experienței.

II

FUNDAMENTELE FIZICII TEORETICE: TEORIA RELATIVITĂȚII ȘI MECANICA CUANTICĂ

CE ESTE TEORIA RELATIVITĂȚII?

Vin cu plăcere în întîmpinarea cererii colaboratorului dumneavoastră de a scrie pentru *Times* ceva despre „relativitate". Căci, după regretabila ruptură a relațiilor internaționale, altădată vii, între savanți[1], aceasta este pentru mine o bine venită ocazie de a-mi exprima sentimentele de bucurie și recunoștință față de astronomii și fizicienii englezi. Faptul că cercetători de seamă au cheltuit mult timp și și-au dat multă osteneală, că institutele dumneavoastră științifice au investit mari mijloace materiale pentru a verifica o consecință a unei teorii care a fost elaborată și publicată în țara dușmanilor dumneavoastră în timpul războiului este cu totul în spiritul marilor și înaltelor tradiții ale muncii științifice din țara dumneavoastră. Dacă în cazul cercetării influenței cîmpului gravitațional al Soarelui asupra razelor de lumină era vorba și de o chestiune pur obiectivă, simt totuși nevoia să exprim colegilor englezi și mulțumirile mele personale pentru munca depusă de ei, fără de care nu aș mai fi apucat, desigur, să văd verificarea celor mai însemnate consecințe ale teoriei mele.[2]

În fizică pot fi deosebite teorii pe diferite genuri. Cele mai multe sînt teorii constructive. Acestea încearcă să construiască o reprezentare a fenomenelor mai complexe pornind de la un formalism relativ simplu, luat ca bază. Astfel, teoria cinetică a gazelor încearcă să reducă fenomenele mecanice, termice și de difuziune la mișcări ale moleculelor, adică să le construiască pe baza ipotezei mișcării moleculare. Cînd se spune că s-a reușit să se

înțeleagă un grup de fenomene ale naturii, prin aceasta se înțelege întotdeauna că s-a găsit o teorie constructivă ce cuprinde fenomenele în discuție.

Dar alături de această importantă clasă de teorii există o a doua, a teoriilor pe care le voi numi teorii de principii (*Prinzip-Theorien*). Acestea nu folosesc metoda sintetică, ci metoda analitică. Punctul de plecare și baza nu sînt constituite de elemente de construcție ipotetice, ci de însușiri generale ale fenomenelor naturii, descoperite empiric, principii, din care decurg apoi criterii formulate matematic, ce trebuie satisfăcute de fenomenele individuale, respectiv de imaginile lor teoretice. Astfel, pornind de la rezultatul empiric general că *un perpetuum mobile* este imposibil, termodinamica încearcă să stabilească pe căi analitice condițiile pe care fenomenele individuale trebuie să le satisfacă.

Avantajul teoriilor constructive este completitudinea, capacitatea de adaptare și intuitivitatea, în timp ce avantajul teoriilor de principii este perfecțiunea logică și siguranța fundamentelor.[3]

Teoria relativității aparține teoriilor de principii. Pentru a-i înțelege esența trebuie mai întîi să cunoaștem principiile pe care se sprijină. Înainte însă de a mă referi la acestea, trebuie să observ că teoria relativității seamănă cu o clădire alcătuită din două etaje separate, teoria specială și teoria generală a relativității. Teoria specială a relativității, pe care se sprijină cea generală, se raportează la toate fenomenele fizice cu excepția gravitației; teoria generală a relativității oferă legea gravitației și relațiile ei cu celelalte forțe ale naturii.

Încă din antichitatea greacă este bine cunoscut că pentru descrierea mișcării unui corp avem nevoie de un al doilea la care se raportează mișcarea celui dintîi. Mișcarea unei trăsuri este raportată la suprafața Pămîntului, mișcarea unei planete la totalitatea stelelor fixe vizibile. În fizică, corpul la care sînt raportate fenomenele din punct de vedere spațial este numit sistem de coordonate. Bunăoară legile mecanicii ale lui Galilei și Newton

au putut fi formulate numai prin utilizarea unui sistem de coordonate.

Starea de mișcare a sistemului de coordonate nu poate fi însă aleasă în mod arbitrar, dacă este vorba ca legile mecanicii să fie valabile (sistemul de coordonate trebuie să fie „fără mișcare de rotație" și „fără mișcare de accelerație"). Sistemul de coordonate admis în mecanică este numit „sistem inerțial". Starea de mișcare a unui sistem inerțial nu este însă, potrivit mecanicii, stabilită univoc de natură. Există mai degrabă principiul: un sistem de coordonate ce se mișcă rectiliniu și uniform față de un sistem inerțial este de asemenea un sistem inerțial. Prin „principiul special al relativității" se înțelege generalizarea acestui principiu asupra oricăror fenomene ale naturii: orice lege generală a naturii valabilă în raport cu un sistem de coordonate *C* trebuie să rămînă valabilă, fără vreo schimbare, în raport cu un sistem de coordonate *C1* care este în mișcare de translație uniformă față de *C*.

Al doilea principiu pe care se sprijină teoria specială a relativității este principiul „constanței vitezei luminii în vid". Acesta spune: în vid lumina are întotdeauna o viteză de propagare determinată (independent de starea de mișcare și de sursa luminii). Încrederea fizicianului în acest principiu își are originea în succesele electrodinamicii lui Maxwell și Lorentz.

Amîndouă principiile amintite sînt susținute cu putere de experiență, dar par să nu fie logic compatibile unul cu celălalt. Unificarea lor logică a fost realizată, în cele din urmă, în teoria specială a relativității printr-o schimbare a cinematicii, adică a teoriei despre legile ce privesc (din punctul de vedere fizic) spațiul și timpul. S-a dovedit că enunțul simultaneității a două evenimente nu are sens decît prin raportare la un sistem de coordonate, că forma etaloanelor de măsurare și viteza de mișcare a ceasornicelor trebuie să depindă de starea lor de mișcare față de sistemul de coordonate.

Vechea fizică, inclusiv legile de mișcare galileo-newtoniene, nu se potrivea însă cinematicii relativiste despre

care a fost vorba. Din cea din urmă decurg condiții matematice generale cărora trebuie să le corespundă legile naturii, dacă este vorba ca cele două principii generale amintite să fie valabile. Acestora trebuia să le fie adaptată fizica.[4] S-a ajuns astfel în particular la o nouă lege a mișcării pentru puncte materiale ce se mișcă rapid, lege care a fost pe deplin confirmată în cazul particulelor încărcate electric. Cel mai însemnat rezultat al teoriei speciale a relativității privea masa inertă a sistemelor materiale. A rezultat că inerția unui sistem trebuie să depindă de conținutul său în energie (*Energie-Inhalt*) și s-a ajuns de-a dreptul la concepția că masa inertă nu este altceva decît energie latentă. Principiul conservării masei și-a pierdut independența și s-a contopit cu principiul conservării energiei.

Teoria specială a relativității, care nu a fost nimic altceva decît o continuare sistematică a electrodinamicii lui Maxwell și Lorentz, a ridicat însă probleme ce nu au putut fi soluționate în cadrul ei. Independența legilor fizice de starea de mișcare a sistemului de coordonate trebuia oare să fie limitată la mișcări de translație uniforme ale sistemelor de coordonate unele față de altele? Ce are comun natura cu sistemele de coordonate introduse de noi și cu starea lor de mișcare? Dacă pentru descrierea naturii este necesar să folosim un sistem de coordonate introdus în mod arbitrar, atunci alegerea stării sale de mișcare trebuie să nu fie supusă nici unei restricții: legile ar trebui să fie cu totul independente de această alegere (principiul general al relativității).

Stabilirea acestui principiu general al relativității devine ușor de înțeles prin raportare la o experiență de mult cunoscută, după care greutatea și inerția unui corp sînt guvernate de aceeași constantă (egalitatea masei inerte și grele). Să ne gîndim la un sistem de coordonate care este conceput în mișcare de rotație uniformă față de un sistem inerțial în sensul lui Newton. Forțele centrifuge ce intervin în raport cu acest sistem trebuie să fie concepute, în sensul teoriei lui Newton, ca efecte ale inerției. Aceste forțe centrifuge sînt însă, întocmai ca și

forțele gravitaționale, proporționale cu masa corpului. Nu s-ar putea să concepem sistemul de coordonate ca imobil, iar forțele centrifuge ca forțe gravitaționale? Concluzia este evidentă, dar mecanica clasică o interzice.

Această reflecție fugară ne lasă să bănuim că o teorie generală a relativității trebuie să ofere legile gravitației, iar urmărirea consecventă a ideii a îndreptățit speranța.

Dar drumul a fost mai greu decît s-ar putea crede, deoarece cerea renunțarea la geometria euclidiană. Aceasta înseamnă că legile după care se dispun în spațiu corpurile solide nu concordă perfect cu legile de așezare pe care le prescrie corpurilor geometria euclidiană. Aceasta se înțelege cînd se vorbește de „curbura spațiului". Conceptele de bază „linie", „suprafață" etc. pierd prin aceasta semnificația lor exactă în fizică.

În teoria generală a relativității, teoria spațiului și timpului, cinematica, nu mai joacă rolul unui fundament independent de restul fizicii. Comportarea geometrică a corpurilor și mersul ceasornicelor depind mai degrabă de cîmpurile gravitaționale care, la rîndul lor, sînt generate de însăși substanța materială.

Din punct de vedere principial, noua teorie a gravitației se îndepărtează considerabil de teoria lui Newton. Dar rezultatele ei practice sînt într-un acord atît de strîns cu cele ale teoriei newtoniene încît este greu să găsim criteriile de distincție care sînt accesibile experienței.[5] S-au găsit pînă acum următoarele:

1) În rotația elipselor traiectoriilor planetelor în jurul Soarelui (rotație confirmată la planeta Mercur).

2) În curbura razelor de lumină datorată cîmpurilor gravitaționale (confirmată de imaginile luate de englezi cu ocazia eclipsei de soare).

3) Într-o deplasare a liniilor spectrale spre extremitatea roșu a spectrului luminii transmise nouă de stele cu o masă considerabilă (pînă acum neconfirmată*).

---

* Și acest criteriu a fost între timp confirmat (nota editorului din anul 1934).

Puterea de atracție principală a teoriei stă în coerența ei logică. Dacă una singură din consecințele deduse din ea se va dovedi inexactă, ea va trebui să fie părăsită; o modificare pare să nu fie cu putință fără distrugerea întregului.[6]

Nimeni nu trebuie însă să-și închipuie că prin această teorie, sau prin oricare alta, marea creație a lui Newton ar putea fi dată la o parte în sensul propriu al cuvîntului. Ideile sale clare și mari își vor păstra întotdeauna însemnătatea lor eminentă ca fundament al întregii noastre construcții conceptuale moderne în domeniul filozofiei naturale.

Notă suplimentară: Observațiile ziarului dumneavoastră privitoare la persoana mea și la împrejurările vieții mele izvorăsc în parte din fantezia demnă de invidiat a autorului lor. Iată încă o probă de aplicare a principiului relativității, spre desfătarea cititorului: astăzi eu sînt numit în Germania un „savant german", iar în Anglia un „evreu elvețian"; dacă însă, la un moment dat, s-ar ajunge la situația să fiu prezentat ca „bête noire", atunci aș fi, invers, pentru germani un „evreu elvețian", iar pentru englezi un „savant german".

NOTE

1. La 6 noiembrie 1919 a avut loc la Londra o ședință comună a Societății Regale de Științe și a Societății Astronomice Regale, în care au fost anunțate constatările făcute de expedițiile astronomice engleze din Brazilia și Africa de Vest cu ocazia eclipsei totale de soare din 29 martie a aceluiași an. Ele au confirmat o predicție a teoriei generale a relativității. Ecoul public al acestui eveniment pur științific a fost neobișnuit de mare. Mai întîi, deoarece confirmarea prin observații astronomice a teoriei lui Einstein punea într-o lumină nouă teoria gravitației a lui Newton, o teorie care a fost aplicată cu succes mai mult de două secole. În al doilea rînd, fiindcă această confirmare a unei teorii îndrăznețe formulate de către un om de știință german a fost realizată de cercetători englezi la puțin timp după încheierea unui lung și sîngeros conflict între cele două țări. În ziarul *Times* din 7 noiembrie 1919, alături de evenimentele

politice ale zilei, era inserat și următorul titlu: *Răsturnare în știință. Teoria lui Newton a fost infirmată*. În zilele următoare, *Times* și alte ziare engleze, ca și presa internațională în general, au scris mult despre Einstein, care a devenit astfel primul om de știință din istorie cunoscut unui cerc foarte larg de oameni fără preocupări științifice. Curînd Einstein a răspuns solicitării ziarului de a scrie un articol de popularizare asupra teoriei relativității apreciind că poate contribui în acest fel la reluarea relațiilor de colaborare dintre oamenii de știință din cele două țări. Sforțările sale au fost încununate de succes. În vara anului 1921, Einstein a fost primul savant german care a vizitat după război Anglia.

2. Autorul se referă la verificarea uneia din predicțiile teoriei generale a relativității, curbura razelor de lumină în cîmpul gravitațional al Soarelui, care a fost întreprinsă cu ocazia eclipsei de soare din 29 martie 1919. Două expediții echipate de Societatea Regală de Științe din Londra, sub conducerea astronomilor Eddington și Crommelin, au luat fotografii la Sobral, în nordul Braziliei, și pe insula Principe, în golful Guineei. Unele fotografii au arătat clar că razele de lumină emanate de la stelele fixe apropiate de soare au fost deviate cînd au trecut prin cîmpul gravitațional al soarelui. Einstein a calculat o abatere de 1,75 secunde de arc, iar măsurătorile au indicat o abatere de aproximativ 1,70 secunde de arc. Observațiile au fost repetate în 1952 în Sudan cu o aparatură mai fină, dînd rezultate apropiate de cele prezise de teorie. Confirmarea unei predicții atît de riscante a contribuit mult la creșterea reputației lui Einstein în afara unor cercuri științifice mai înguste. Einstein îi scria lui Planck: „Este totuși o favoare a sorții că am putut să trăiesc această clipă."

3. Pentru o altă referire la distincția dintre teorii constructive și teorii de principii și pentru caracterizarea teoriei relativității ca o teorie de principii, vezi și *Note autobiografice*.

4. Einstein reia aici observații formulate și în alte texte cu privire la rolul pe care l-au jucat considerațiile de principiu în elaborarea teoriei restrînse și generale a relativității. Teoria restrînsă a relativității a izvorît din străduințele de a armoniza două principii fizice confirmate de experiență, dar aparent incompatibile, principiul relativității mișcării și principiul constanței vitezei luminii în vid. Deducția matematică a fost în măsură să arate că prețul ce trebuie plătit pentru formularea unei teorii mai generale a mișcării este revizuirea conceptelor de spațiu și timp ale cinematicii clasice. Vezi și nota 5 la *Discurs de recepție la Academia prusacă de științe*.

5. Este o formulare simplă și clară a relației de corespondență între două teorii fizice pe care Einstein le caracterizează drept esențial deosebite în principiile lor. Dacă cele două teorii pot fi distinse ca descrieri ale lumii fizice reale, ele coincid în predicțiile lor într-un domeniu cuprinzător al experienței, adică pentru acele

regiuni ale universului în care intensitatea cîmpului gravitațional nu depășește o anumită limită.

6. Această apreciere ni se pare deosebit de importantă pentru înțelegerea aspirațiilor care au animat cercetările teoretice ale lui Einstein și a concluziilor pe care le-a tras el din succesul unora din strădaniile sale științifice. Valoarea teoriei generale a relativității stă, după Einstein, în relația logică deosebit de strînsă dintre principii și consecințe, în particular dintre principii și consecințele experimentale deduse din teorie. Acordul unei asemenea teorii cu datele experienței nu va putea fi restabilit prin modificări ale unor ipoteze auxiliare, lăsînd neatinse principiile teoriei. Dacă fie și o singură consecință empirică dedusă din teorie va fi contrazisă de datele experienței, teoria va trebui considerată drept infirmată. În încheierea foarte instructivei sale lucrări de popularizare, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie* (*gemeinverständlich*), a cărei primă ediție apare în 1917, Einstein preciza: „Dacă deplasarea spre roșu a liniilor spectrale datorită cîmpului gravitațional nu ar exista, teoria generală a relativității ar fi de nesusținut." Einstein sugerează clar că severitatea testelor empirice cărora poate să le fie supusă o teorie fizică sporește pe măsură ce crește gradul de coerență internă al teoriei. Pe de altă parte, dacă consecințele deduse dintr-o teorie atît de abstractă, care a fost elaborată pe baza unor considerații de principiu și nu sub presiunea experienței, sînt în mod sistematic de acord cu datele experienței, rezultă că există un acord între considerații de simplitate logică și frumusețe matematică, pe de o parte, și natura realității, pe de altă parte. Ideea caracterului „inteligibil", „rațional" al realității, idee care revine în mai multe texte scrise de Einstein după 1920, exprimă în primul rînd modul cum a înțeles și a interpretat el succesul strădaniilor sale de generalizare a teoriei relativității. Sommerfeld își amintește că în fața unei teorii ce i se părea arbitrară sau forțată, în contradicție cu credința sa în simplitatea și armonia rațională a naturii, Einstein obișnuia să spună: „So etwas tut der liebe Gott nicht" (*Bunul Dumnezeu nu face așa ceva*). (Vezi A. Sommerfeld, *Albert Einstein*, în (ed.) P. A. Schilpp, *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1955, p. 40).

FIZICA ȘI REALITATEA

1. Considerații generale despre metoda științei

S-a spus deseori și, desigur, nu pe nedrept, că omul de știință este un slab filozof. De ce atunci n-ar fi mai bine ca și fizicianul să lase filozofarea în seama filozofilor? Se prea poate ca lucrul acesta să fi fost valabil într-o epocă în care fizicienii credeau că dispun de un sistem solid de concepte fundamentale și de legi fundamentale în afara oricărei îndoieli, nu însă într-o epocă în care întreg fundamentul fizicii a devenit problematic, cum se întîmplă astăzi. Într-o epocă cum este a noastră, cînd experiența ne obligă să căutăm o bază nouă, mai solidă, fizicianul nu poate să lase pur și simplu în seama filozofiei examinarea critică a fundamentelor teoretice, căci numai el cunoaște și simte cel mai bine punctul nevralgic; căutînd un nou fundament, el trebuie să se edifice cît mai bine asupra justificării și necesității conceptelor pe care le folosește.[1]

Întreaga știință nu este altceva decît o rafinare a gîndirii de toate zilele. Ca urmare, gîndirea critică a fizicianului nu se poate limita la examinarea conceptelor din propriul său domeniu special, ci trebuie să se oprească și asupra gîndirii de toate zilele, care este mult mai greu de analizat.[2]

Pe scena vieții noastre psihice se perindă într-un șir pestriț experiențe senzoriale, amintiri despre ele, reprezentări și sentimente. Spre deosebire de psihologie, fizica are de a face (în mod direct) numai cu experiențe

senzoriale și cu „înțelegerea“ conexiunilor dintre ele. Dar pînă și conceptul de „lume exterioară reală“ din gîndirea de toate zilele se bazează exclusiv pe impresii senzoriale.

Să observăm mai întîi că nu se poate face o deosebire, în orice caz nu una certă, între impresiile senzoriale (senzații) și reprezentări. Aici vom lăsa însă deoparte această problematică, ce privește și conceptul de realitate, și vom lua experiențele senzoriale ca perceptibile și date, ca trăiri psihice de un fel deosebit.

Cred că primul pas spre postularea unei „lumi exterioare reale“ îl constituie formarea noțiunii de obiect corporal, respectiv de obiecte corporale de diverse feluri. Noi desprindem mental, în mod arbitrar, din multitudinea experiențelor noastre senzoriale, anumite complexe de senzații care se repetă (în parte asociate cu senzații ce sînt interpretate ca semne ale experiențelor senzoriale ale altor oameni) și le atașăm un concept — acela de obiect corporal. Din punct de vedere logic, conceptul acesta nu este identic cu totalitatea acelor impresii senzoriale, ci este o creație liberă a spiritului uman (sau animal). Pe de altă parte însă, acest concept își datorează în mod exclusiv semnificația și justificarea totalității acelor impresii senzoriale cărora le este asociat.[3]

Al doilea pas constă în aceea că, în gîndirea noastră (care ne determină așteptările), atribuim respectivului concept de obiect corporal o semnificație în mare măsură independentă de impresiile senzoriale în legătură cu care a luat ființă. Asta este ceea ce avem în vedere atunci cînd atribuim obiectului corporal „existență reală“. Îndreptățirea acestei postulări constă exclusiv în faptul că prin intermediul conceptelor de acest fel și al relațiilor mentale dintre ele izbutim să ne orientăm în labirintul impresiilor senzoriale. Aceste concepte și relații — deși sînt construcții libere ale gîndirii — ni se par mai solide și mai statornice decît o experiență senzorială individuală, de care nu sîntem niciodată absolut siguri că n-are caracterul unei iluzii sau al unei halucinații.[4] Pe de altă parte, aceste concepte și relații, îndeosebi postularea

unor obiecte reale și în general a unei „lumi reale“, se justifică numai în măsura în care sînt legate de experiențe senzoriale, între care stabilesc legături mentale.

Faptul însuși că totalitatea experiențelor noastre senzoriale este de așa natură încît poate fi ordonată prin gîndire (prin operații cu concepte și prin crearea și aplicarea anumitor legături funcționale dintre acestea, precum și prin coordonarea experiențelor senzoriale cu conceptele) poate, desigur, să ne mire, dar niciodată nu va fi înțeles. S-ar putea spune că ceea ce va rămîne veșnic neinteligibil în privința lumii este inteligibilitatea ei. Lui Immanuel Kant îi revine marele merit de a-și fi dat seama că fără această inteligibilitate recunoașterea unei lumi exterioare reale ar fi lipsită de sens.

Expresia „inteligibilitate“ („Begreiflichkeit“), așa cum o folosim aici, trebuie luată în accepțiunea ei cea mai modestă. Ea înseamnă: realizarea unei ordini între experiențele senzoriale, prin crearea de concepte generale și de relații între aceste concepte, ca și prin relații stabilite într-un fel oarecare între concepte și experiențele senzoriale. În sensul acesta este inteligibilă lumea experiențelor noastre senzoriale, iar faptul că e inteligibilă este un miracol.[5]

Despre modul în care trebuie construite și legate între ele conceptele, ca și despre modul cum trebuie să le coordonăm cu experiențele senzoriale, nu se poate spune, după părerea mea, nimic *a priori*. Numai succesul în edificarea unei ordini în experiențele senzoriale este cel care decide. Necesară este doar enunțarea de reguli privind legăturile dintre conceptele respective, căci altminteri nu ar fi posibilă o cunoaștere ca aceea spre care năzuim. Aceste reguli au fost comparate cu regulile unui joc, care sînt ca atare arbitrare, dar a căror respectare strictă face abia cu putință jocul. Fixarea acestor reguli nu va fi însă niciodată definitivă, ci se poate pretinde valabilă numai pentru un domeniu de aplicație determinat (cu alte cuvinte, nu există categorii definitive în sensul lui Kant).

Corelațiile conceptelor elementare din gîndirea curentă cu complexe de senzații pot fi sesizate numai în mod intuitiv și nu sînt susceptibile de o determinare logic-științifică. Totalitatea acestor legături — inexprimabile ele însele conceptual — este singurul lucru ce deosebește edificiul științei de o schemă logică conceptuală goală; grație acestor corelații, propozițiile pur conceptuale ale științei devin enunțuri generale despre complexe de experiențe senzoriale.

Conceptele legate în mod direct și intuitiv cu complexe tipice de experiențe senzoriale le vom numi „concepte primare". Toate celelalte concepte au sens — considerate din punct de vedere fizic — numai în măsura în care se leagă, prin propoziții, cu „conceptele primare". Aceste propoziții sînt în parte definiții ale conceptelor (și enunțuri deductibile logic din acestea), iar în parte propoziții ce nu decurg din definiții, ci enunță, cel puțin indirect, relații între „concepte primare" și deci între experiențe senzoriale. Propozițiile de acest din urmă fel sînt „aserțiuni despre realitate" sau „legi ale naturii", adică propoziții care trebuie să fie confirmate (*sich zu bewähren haben*) prin raportare la experiențe senzoriale cuprinse sub concepte primare.[6] Care dintre propoziții trebuie considerate drept definiții și care drept legi ale naturii, aceasta depinde în mare măsură de formularea aleasă; o atare diferențiere este însă cu adevărat necesară numai atunci cînd vrem să aflăm în ce măsură întreg sistemul conceptual considerat posedă, din punct de vedere fizic, un conținut.

2. Stratificarea sistemului științific

Scopul științei este, întîi, cuprinderea și conectarea conceptuală cît mai *completă* a experiențelor senzoriale în toată diversitatea lor, iar, în al doilea rînd, atingerea acestui scop *prin folosirea unui minim de concepte și relații*

primare (năzuind spre unitatea cît mai logică a imaginii despre lume, adică spre simplitatea logică a bazei sale).[7]

Știința se folosește de întreaga multitudine a conceptelor primare, adică a conceptelor legate nemijlocit de experiențe senzoriale, ca și de multitudinea propozițiilor care leagă între ele aceste concepte. În primul ei stadiu de dezvoltare ea nu conține nimic mai mult. Gîndirea noastră de toate zilele se mulțumește, în linii mari, să rămînă la această treaptă. Un spirit cu adevărat științific nu se poate împăca însă cu această situație, deoarece mulțimea de concepte și relații ce se pot dobîndi astfel este total lipsită de unitate logică. Pentru a remedia acest neajuns, el inventează un sistem mai sărac în concepte și relații, ce cuprinde conceptele și relațiile primare din „primul strat" în calitate de concepte și relații logic derivate. Prețul care se plătește pentru gradul mai înalt de unitate logică al acestui nou sistem, „secundar", constă în faptul că noțiunile sale inițiale (conceptele din „stratul al doilea") nu mai sînt legate nemijlocit de complexe de experiențe senzoriale. Năzuința continuă spre simplitate logică duce la edificarea unui sistem terțiar, cu un număr și mai mic de concepte și relații, din care să poată fi deduse conceptele și relațiile aparținînd stratului secundar (și astfel, indirect, și cele din stratul primar). Lucrurile continuă în acest fel, pînă cînd ajungem la un sistem a cărui bază logică se caracterizează prin cea mai mare unitate și economie de concepte imaginabilă, compatibil cu ansamblul datelor furnizate de simțuri. Nu știm dacă în felul acesta vom ajunge vreodată la un sistem definitiv. Cînd ni se cere părerea, înclinăm să răspundem că nu; dar cînd ne confruntăm efectiv cu problemele, sîntem animați de speranța că acest țel suprem poate realmente să fie atins într-o mare măsură.

Un adept al teoriei abstracției sau a inducției ar numi straturile despre care am vorbit mai înainte „grade de abstractizare". Mie însă mi se pare greșit să disimulăm independența logică a conceptelor față de experiențele senzoriale; nu avem de-a face aici cu o relație cum este

cea dintre supă și carnea din care este preparată, ci mai degrabă cu una de felul celei ce există între numărul de la garderobă și pardesiu.

În plus, straturile nu sînt net delimitate între ele. Nu este cu totul clară nici apartenența unui concept la stratul primar. De fapt, este vorba de concepte construite în mod liber, legate în mod intuitiv de complexe de experiențe senzoriale cu o siguranță suficientă pentru aplicare, astfel încît să nu existe incertitudine în constatarea acordului sau dezacordului unei propoziții cu o experiență particulară. Esențială este doar năzuința de a reprezenta multitudinea conceptelor și propozițiilor apropiate de experiență ca fiind deduse logic dintr-o bază cît mai restrînsă de concepte și relații fundamentale, care pot fi, ele însele, liber alese (axiome). Această libertate de alegere nu este însă fără limite; ea nu seamănă cu libertatea unui romancier, ci mai curînd cu libertatea unui om căruia i s-a dat să rezolve un joc de cuvinte încrucișate bine conceput. El poate propune, ce-i drept, ca soluție orice cuvînt vrea; dar de fapt există *unul singur* care realmente rezolvă jocul în toate părțile lui. Că natura, așa cum este ea accesibilă simțurilor noastre, are caracterul unui asemenea joc de cuvinte încrucișate bine făcut este o credință pe care, ce-i drept, succesele de pînă acum ale științei o încurajează întru cîtva.[8]

Multitudinea de straturi despre care am vorbit mai sus corespunde progreselor realizate în cursul dezvoltării în lupta pentru unitatea bazei. Din perspectiva țelului final, straturile intermediare au doar o valoare temporară, urmînd să dispară la sfîrșit ca irelevante. Noi avem de-a face însă cu știința de astăzi, în care aceste straturi reprezintă succese parțiale problematice, care se susțin reciproc, dar se și primejduiesc reciproc; căci sistemul conceptual de astăzi conține incongruențe profunde, de care ne vom izbi mai tîrziu.

Scopul rîndurilor care urmează este să arăt pe ce căi a pășit spiritul uman constructor spre a ajunge la o bază conceptuală cît mai unitară din punct de vedere logic a fizicii.

3. Mecanica și încercarea de a întemeia pe ea întreaga fizică

O proprietate importantă a experiențelor noastre senzoriale, ca și a experiențelor noastre în general, este ordinea lor temporală. Această proprietate de ordine duce la construirea mentală a timpului subiectiv, o schemă ordonatoare pentru experiențele noastre. Timpul subiectiv, cum vom vedea mai departe, duce apoi, prin conceptul de obiect corporal și de spațiu, la conceptul de timp obiectiv.

Conceptului de timp obiectiv îi precedă însă cel de spațiu, iar acestuia îi precedă conceptul de obiect corporal; ultimul este legat în mod direct cu complexe de experiențe senzoriale. O proprietate caracteristică a conceptului de „obiect corporal" constă, după cum s-a arătat, în aceea că noi corelăm cu un asemenea obiect o existență independentă de timp (de „timpul subiectiv") și independentă de perceperea lui senzorială. Facem asta în ciuda faptului că percepem în el schimbări temporale. După cum a evidențiat pe bună dreptate Poincaré, la obiectele corporale deosebim două feluri de schimbări — „schimbări de stare" și „schimbări de poziție"; acestea din urmă sînt, spunea el, acele schimbări pe care le putem anula prin mișcări arbitrare ale corpului nostru.

Că există obiecte corporale cărora înăuntrul unui anumit domeniu perceptual nu trebuie să le atribuim nici un fel de schimbări de stare, ci doar schimbări de poziție, este un fapt de importanță fundamentală pentru formarea conceptului de spațiu (iar într-o anumită măsură chiar și pentru justificarea noțiunii de obiect corporal); vom conveni să spunem despre un asemenea obiect că este „practic rigid".

Dacă considerăm simultan ca obiect al percepției noastre două corpuri practic rigide, altfel spus dacă considerăm două asemenea corpuri ca formînd un întreg, pentru acest întreg vor exista schimbări ce *nu* vor putea fi considerate drept schimbări de poziție ale întregului,

deși ele sînt schimbări de poziție pentru fiecare dintre componente. Aceasta duce la noțiunea de „schimbare a poziției relative" a celor două obiecte, și implicit și la noțiunea de „poziție relativă" a celor două obiecte. Se vădește, mai departe, că printre pozițiile relative există una de un fel aparte, pe care o numim „contact"*. Contactul permanent între două corpuri în trei sau mai multe „puncte" înseamnă unirea lor într-un corp compus (cvasi-rigid). Se poate spune că primul corp a fost prelungit în mod cvasi-rigid prin cel de-al doilea, care poate fi și el, la rîndul său, prelungit în mod cvasi-rigid. Posibilitatea prelungirii cvasi-rigide a unui corp este nelimitată. Esențialul imaginarei prelungiri cvasi-rigide a unui corp K_0 îl constituie „spațiul" infinit determinat de ea.

După părerea mea, faptul că fiecare corp, situat într-un fel oarecare, poate fi pus în contact cu prelungirea cvasi-rigidă a unui anumit corp K_0 arbitrar ales (corpul de referință) constituie baza empirică a conceptului nostru de spațiu. În gîndirea preștiințifică, scoarța solidă a Pămîntului joacă rolul lui K_0 și al prelungirii sale. Însuși numele de geometrie ne sugerează că noțiunea de spațiu este legată psihologic cu Pămîntul în calitate de corp de referință.[9]

Îndrăzneața noțiune de spațiu, care a precedat orice geometrie științifică, a transformat pe plan mintal conceptul de relații de poziție între obiecte corporale în conceptul de poziție a obiectelor corporale „în spațiu". Aceasta reprezintă, în sine, deja o mare simplificare formală. Grație acestei transformări, orice enunț referitor la poziție este implicit un enunț privitor la contact; enunțul că un punct al unui obiect corporal se află în punctul P din spațiu înseamnă că obiectul atinge cu punctul res-

* Ține de natura lucrurilor că nu putem vorbi despre toate acestea decît folosind concepte construite de noi, ce nu pot fi definite. Esențial e însă că folosim numai concepte de a căror coordonare cu materialul experienței noastre avem dreptul să ne socotim siguri.

pectiv punctul P al corpului de referință K_0 (pe care-l presupunem prelungit în mod corespunzător).

În geometria grecilor spațiul joacă numai un rol așa zicînd calitativ: poziția corpurilor era gîndită, ce-i drept, în raport cu el, dar nu era descrisă prin numere. Descartes a fost primul care, mai tîrziu, a făcut acest lucru. În limbajul său, întregul conținut al geometriei euclidiene poate fi întemeiat axiomatic pe următoarele enunțuri: (1) Două puncte specificate ale unui corp rigid determină un segment de dreaptă. (2) Putem asocia punctelor din spațiu triplete de numere X_1, X_2, X_3, astfel încît pentru orice segment $P' - P''$ ale cărui capete au coordonatele X'_1, X'_2, X'_3, X''_1, X''_2, X''_3 expresia

$$s^2 = (X''_1 - X'_1)^2 + (X''_2 - X'_2)^2 + (X''_3 - X'_3)^2$$

să fie independentă de poziția corpului respectiv și a tuturor celorlalte corpuri. Numărul (pozitiv) s se numește lungimea segmentului sau distanța dintre cele două puncte spațiale P' și P'' (care coincid cu punctele P' și P'' ale segmentului).

Formularea este anume aleasă de așa manieră, încît să evidențieze clar nu numai conținutul logico-axiomatic, ci și pe cel empiric al geometriei euclidiene. Prezentarea pur logică (axiomatică) a geometriei euclidiene are, ce-i drept, avantajul unei mai mari claritățiși simplități. Avantajul acesta este plătit însă prin renunțarea la reprezentarea legăturii dintre construcția conceptuală și experiența senzorială, legătură pe care se sprijină în mod exclusiv semnificația geometriei pentru fizică. Eroarea fatală de a crede că geometria euclidiană și conceptul de spațiu cu care operează ea au la bază o necesitate a gîndirii anterioară oricărei experiențe a izvorît din faptul că a fost dată uitării baza empirică pe care se sprijină construcția axiomatică a geometriei euclidiene.[10]

În măsura în care putem vorbi de existența corpurilor rigide în natură, geometria euclidiană este o știință fizică ce trebuie confirmată prin confruntarea cu experiența

senzorială. Ea se referă la totalitatea propozițiilor ce trebuie să fie valabile pentru pozițiile relative ale corpurilor rigide independent de timp. După cum se vede, conceptul fizic de spațiu, așa cum a fost folosit inițial în fizică, este legat și el de existența corpurilor rigide.

Din punct de vedere fizic, importanța centrală a geometriei euclidiene constă în aceea că, independent de natura specifică a corpurilor despre a căror poziție relativă este vorba, enunțurile ei pretind a fi valabile. Simplitatea ei formală este caracterizată prin proprietățile de omogenitate și izotropie (și existența unor entități asemănătoare).

Pentru geometria propriu-zisă, adică pentru formularea regularităților privitoare la pozițiile relative ale corpurilor rigide, conceptul de spațiu este, ce-i drept, util, însă nu și indispensabil. În schimb, conceptul de timp obiectiv, fără de care nu este posibilă formularea fundamentelor mecanicii clasice, este legat de conceptul de continuu spațial.

Introducerea timpului obiectiv constă în două aserțiuni reciproc independente:

(1) Introducerea timpului local obiectiv, prin corelarea șirului temporal al existențelor cu indicațiile unui „ceasornic", adică ale unui sistem închis cu mișcare periodică.

(2) Introducerea conceptului de timp obiectiv pentru evenimentele din *întregul spațiu*, prin care, abia, noțiunea de timp local este lărgită pînă la noțiunea de timp din fizică.

Observație la (1). După părerea mea, nu comitem un *petitio principii* punînd noțiunea de mișcare periodică înaintea celei de timp, cînd e vorba de clarificarea originii și a conținutului empiric al noțiunii de timp. Această concepție corespunde întru totul primordialității conceptului de corp rigid (respectiv cvasi-rigid) în interpretarea noțiunii de spațiu.

Dezvoltare la punctul (2). Iluzia care a domnit înainte de formularea teoriei relativității, că ar fi *a priori* clar din

punctul de vedere al experienței ce înseamnă simultaneitatea în raport cu evenimentele distanțate în spațiu și ce înseamnă timpul fizic în general își are originea în faptul că în experiența cotidiană putem neglija timpul de propagare a luminii. Sîntem obișnuiți de aceea să nu deosebim între „simultan“ și „a se întîmpla simultan“, ceea ce duce la ștergerea deosebirii dintre timp și timp local.

Imprecizia ce afectează noțiunea de timp a mecanicii clasice, din punctul de vedere al semnificației ei empirice, a fost ascunsă în prezentările axiomatice, prin aceea că ele au tratat spațiul și timpul ca pe un dat independent de experiențele senzoriale. O asemenea ipostaziere (autonomizare) a unor noțiuni nu este neapărat păgubitoare pentru știință; ea poate însă lesne să genereze eroarea de a uita originea empirică a acestor noțiuni și de a le considera drept necesități înscrise în structura gîndirii, și prin aceasta imuabile, ceea ce poate deveni o primejdie reală pentru progresul științei.[11]

Pentru dezvoltarea mecanicii și implicit a fizicii în general a fost un noroc că gînditorilor mai de demult le-a rămas ascunsă imprecizia aferentă conceptului de timp obiectiv în privința interpretării lui empirice. Cu deplină încredere în semnificația reală a construcției spațio-temporale a fost edificat fundamentul mecanicii, care poate fi caracterizat în felul următor:

(a) Conceptul de punct material: obiect corporal care, în ce privește poziția și mișcarea, poate fi descris cu suficientă precizie drept un punct cu coordonatele x_1, x_2, x_3. Descrierea mișcării sale (în raport cu „spațiul“ $K0$) luînd x_1, x_2, x_3 ca funcții de timp.

(b) Legea inerției: dispariția componentelor accelerației pentru un punct material care este suficient depărtat de toate celelalte.

(c) Legea mișcării (punctului material): forța = masa × accelerația.

(d) Legile forței (ale acțiunii reciproce între puncte materiale).

Aici (b) nu este decît un caz special important al lui (c). O teorie reală există doar atunci cînd sînt date legile forței; forțele trebuie mai întîi să satisfacă doar legea egalității acțiunii și reacțiunii, pentru ca un sistem de puncte — legate permanent în spațiu prin forțe unul de altul — să se comporte ca *un singur* punct material. Aceste legi fundamentale, împreună cu legea newtoniană a forței gravitaționale, formează baza mecanicii cerești clasice. În această mecanică a lui Newton, prin contrast cu concepția despre spațiu expusă mai sus și derivată din ideea de corp rigid, spațiul K_0 intervine într-un mod ce pune în joc un element nou: valabilitatea lui (b) și (c) nu este cerută (considerînd dată legea forței) pentru orice K_0, ci numai pentru asemenea K_0 care se află într-o stare de mișcare corespunzătoare (sistemele inerțiale)*. Prin aceasta, spațiul de coordonate dobîndește o proprietate fizică independentă, absentă din noțiunea pur geometrică de spațiu-fapt care i-a dat multă bătaie de cap lui Newton (experimentul cu vasul).

Mecanica clasică este doar o schemă generală; ea devine o teorie abia prin indicarea explicită a legilor forței (d), așa cum a făcut cu atîta succes Newton pentru mecanica cerească. Din punctul de vedere al obiectivului maximei simplității logice a fundamentelor, această metodă teoretică prezintă neajunsul că legile forței nu pot fi obținute prin considerații logice și formale, astfel încît alegerea lor este în mare măsură *a priori* arbitrară. Legea gravitațională a forței formulată de Newton se deosebește exclusiv prin *succesul* ei de alte legi ale forței care se pot concepe.

---

* Acest defect al teoriei ar fi putut fi remediat numai printr-o asemenea formulare a mecanicii, care să rămînă valabilă pentru orice K_0. Acesta este unul din pașii care au condus la teoria generală a relativității. Un al doilea defect, care se elimină tot așa, numai prin introducerea teoriei generale a relativității, constă în aceea că în cadrul mecanicii nu există nici o rațiune pentru egalitatea masei inerțiale a punctului material cu masa lui gravitațională.

În ciuda faptului că astăzi știm în mod pozitiv că mecanica clasică nu oferă un fundament satisfăcător pentru întreaga fizică, ea continuă să stea în centrul întregii noastre gîndiri în fizică. Motivul e că, cu totul progresul important realizat de la Newton încoace, noi nu am ajuns încă la un nou fundament al fizicii din care să fim siguri că s-ar putea deduce logic întreaga complexitate a fenomenelor cercetate și a sistemelor teoretice parțiale încununate de succes. Voi încerca, în cele ce urmează, să descriu pe scurt cum stau lucrurile în această privință.

Să încercăm mai întîi să stabilim clar în ce măsură sistemul mecanicii clasice s-a dovedit apt să servească drept bază pentru întreaga fizică. Cum ceea ce ne preocupă aici sînt numai fundamentele fizicii și evoluția lor, putem lăsa deoparte progresele pur *formale* ale mecanicii (ecuațiile lui Lagrange, ecuațiile canonice etc.). Doar o observație pare a fi indispensabilă. Noțiunea de „punct material" este fundamentală pentru mecanică. Dacă vom căuta acum mecanica unui obiect corporal ce *nu* poate fi tratat el însuși ca punct material — or, strict vorbind, orice obiect „perceptibil prin simțuri" aparține acestei categorii — se pune întrebarea: Cum ne vom imagina obiectul ca alcătuit din puncte materiale și ce forțe trebuie să admitem că acționează între ele? Formularea acestei întrebări este indispensabilă, dacă mecanica pretinde să ofere o descriere *completă* a obiectelor.

Stă în tendința firească a mecanicii să presupună că aceste puncte materiale și legile forțelor ce acționează între ele sînt invariabile, dat fiind că modificările temporale s-ar afla în afara domeniului explicației mecanice. Vedem de aici că mecanica clasică trebuie să ne ducă în mod necesar la o construcție atomistă a materiei. Înțelegem acum cu deosebită claritate cît de mult greșesc acei teoreticieni ai cunoașterii care cred că teoria ia naștere inductiv din experiență. Nici măcar marele Newton n-a putut evita această eroare („Hypotheses non fingo").[12]

Spre a nu se pierde fără speranță în această linie de gîndire (atomistă), știința procedează mai întîi în felul următor. Mecanica unui sistem este determinată dacă energia lui potențială este dată ca funcție de configurația lui. În cazul cînd forțele ce acționează în el sînt de așa natură încît garantează menținerea anumitor calități de ordine ale configurației sistemului, atunci configurația poate fi descrisă cu destulă acuratețe printr-un număr relativ mic de variabile de configurație q_r; energia potențială este considerată numai în măsura în care depinde de *aceste* variabile de configurație (de exemplu, descrierea configurației unui corp practic rigid cu ajutorul a șase variabile).

Un al doilea mod de aplicare a mecanicii care evită considerarea unei divizări a materiei ce-ar merge pînă la punctele ei materiale „reale" este mecanica așa-numitelor medii continue. Aceasta se caracterizează prin ficțiunea că densitatea materiei și viteza ei sînt continuu dependente de coordonate de timp și că acea parte a interacțiunilor care nu este dată în mod explicit poate fi considerată drept forțe superficiale (forțe de presiune) ce sînt de asemenea funcții continue ale poziției. De aceasta țin teoria hidrodinamică și teoria elasticității corpurilor solide. Aceste teorii evită introducerea explicită a punctelor materiale, prin ficțiuni care, în raport cu fundamentul mecanicii clasice, nu pot avea decît o semnificație aproximativă.

Pe lîngă marea lor însemnătate *practică*, aceste discipline științifice au creat — prin extinderea universului ideilor matematice — acele instrumente formale auxiliare (ecuațiile diferențiale parțiale) de care era nevoie pentru încercările ulterioare de a da o nouă fundamentare a întregii fizici în comparație cu cea a lui Newton.

Aceste două moduri de aplicare a mecanicii aparțin așa-numitei fizici „fenomenologice". Pentru acest fel de fizică este caracteristic că uzează de concepte cît mai apropiate de experiență, dar care, tocmai de aceea, trebuie să renunțe în mare măsură la unitatea fundamen-

telor. Căldura, electricitatea și lumina sînt descrise prin variabile de stare speciale și prin constante speciale ale materiei alături de stările mecanice, iar determinarea tuturor acestor variabile în dependența lor reciprocă și temporală a fost o problemă care a putut fi soluționată în esență numai pe căi empirice. Mulți dintre contemporanii lui Maxwell vedea în modul acesta de prezentare scopul ultim al fizicii, la care își închipuiau că se poate ajunge pe cale pur inductivă prin experiență, dată fiind relativa proximitate de experiență a conceptului utilizate. Din punct de vedere gnoseologic, J. St. Mill și E. Mach au susținut oarecum acest punct de vedere.[13]

În ce mă privește, cred că cea mai mare realizare a mecanicii lui Newton constă în faptul că aplicarea ei consecventă a dus la depășirea acestui punct de vedere fenomenologic, îndeosebi în studiul fenomenelor termice. Aceasta s-a realizat prin teoria cinetică a gazelor și, în general, prin mecanica statistică. Prima a legat ecuația de stare a gazelor ideale, vîscozitatea, difuziunea și conductivitatea termică a gazelor și fenomenele radiometrice ale gazelor, stabilind o conexiune logică între fenomene care, din punctul de vedere al experienței nemijlocite, n-aveau nimic comun. Cea din urmă a condus la o interpretare mecanică a ideilor și legilor termodinamicii, ca și la descoperirea limitei de aplicabilitate a ideilor și legilor teoriei clasice a căldurii. Această teorie cinetică nu numai că a depășit cu mult fizica fenomenologică în privința unității logice a fundamentelor, dar a produs pe deasupra și valori determinate pentru mărimile adevărate ale atomilor și moleculelor, obținute prin cîteva metode independente, în afara oricărei îndoieli rezonabile. Aceste progrese decisive au fost obținute cu prețul corelării punctelor materiale cu configurații reale (atomi, respectiv molecule) al căror caracter constructiv-speculativ era evident. Nimeni nu putea spera că va putea vreodată „să perceapă direct" un atom. Legi referitoare la mărimi de stare situate aproape de nivelul observației (cum sînt temperatura, presiunea, viteza) erau deduse din ideile

fundamentale prin calcule complicate. În felul acesta fizica (sau cel puțin o parte a ei), construită inițial într-o manieră mai „fenomenologică", a fost redusă, prin fundarea ei pe mecanica newtoniană a atomilor și moleculelor, la o bază și mai îndepărtată de experiență, dar avînd un caracter mai uniform.

4. Conceptul de cîmp

Mecanica newtoniană a izbutit mult mai puțin în explicarea fenomenelor optice și electrice decît în domeniile discutate în cele de mai sus. E adevărat că Newton, în teoria sa corpusculară a luminii, a încercat să reducă lumina la mișcarea unor puncte materiale. Ulterior însă, pe măsură ce fenomenele de polarizare, difracție și interferență a luminii au impus teoriei sale modificări din ce în ce mai nefirești, s-a impus teoria ondulatorie a luminii a lui Huyghens. Nașterea acestei teorii s-a datorat în primul rînd fenomenelor optice ale cristalelor și teoriei sunetului, pe atunci deja elaborată într-o anumită măsură. Este adevărat că și teoria lui Huyghens s-a bazat la început pe mecanica clasică. Dar ca purtător al mișcărilor ondulatorii a trebuit introdus eterul ce pătrunde toate corpurile și a cărui constituție bazată pe particule materiale nu putea fi explicată prin nici un fenomen cunoscut. Nu s-a putut ajunge niciodată la o imagine clară asupra forțelor interne ce guvernează eterul, nici asupra forțelor ce acționează între eter și materia „ponderabilă". Așa se face că fundamentele acestei teorii au rămas tot timpul învăluite în beznă. Adevărata bază era o ecuație diferențială parțială a cărei reducere la elemente mecanice a rămas întotdeauna problematică.

Pentru înțelegerea teoretică a fenomenelor electrice și magnetice au fost introduse din nou mase de un fel deosebit și s-a admis existența între aceste mase a unor forțe cu acțiune la distanță, similare forțelor gravitaționale ale lui Newton. Aceste feluri speciale de materie

păreau însă lipsite de proprietatea fundamentală a inerției; iar forțele ce acționau între aceste mase și materia ponderabilă rămîneau obscure. Acestor dificultăți li s-a adăugat caracterul polar al respectivelor feluri de materie, ce nu se încadra în schema mecanicii clasice. Baza teoriei a ajuns și mai nesatisfăcătoare atunci cînd au devenit cunoscute fenomenele electrodinamice, cu toate că aceste fenomene îl conduceau pe fizician la explicarea fenomenelor magnetice prin cele electrodinamice, făcînd astfel de prisos ipoteza maselor magnetice (Einstein folosește aici expresia „masă" pentru sarcină ca să sublinieze analogia cu mecanica — *n.t.*). Acest progres s-a realizat cu prețul sporirii complexității forțelor de interacțiune ce trebuiau admise ca existînd între masele electrice în mișcare.

Ieșirea din această situație supărătoare grație teoriei cîmpului electric a lui Faraday și Maxwell reprezintă probabil cea mai profundă transformare suferită de fundamentele fizicii de la Newton încoace. S-a făcut din nou un pas în direcția speculației constructive, care a mărit distanța dintre fundamentul teoriei și nivelul percepției senzoriale. Într-adevăr, existența cîmpului se manifestă numai cînd în el sînt introduse corpuri încărcate electric. Ecuațiile diferențiale ale lui Maxwell leagă coeficienții diferențiali spațiali și temporali ai cîmpurilor electric și magnetic. Masele electrice nu sînt altceva decît locuri în care divergența cîmpului electric nu se anulează. Undele optice apar ca procese de cîmp electromagnetice ondulatorii ce se desfășoară în spațiu.

Maxwell a încercat, ce-i drept, să dea o interpretare mecanică teoriei sale a cîmpului, cu ajutorul unor modele mecanice ale eterului. Aceste încercări au fost însă treptat împinse în umbră în urma reprezentării — purificată de orice adaosuri superflue — a lui Heinrich Hertz, astfel încît în această teorie cîmpul a ocupat în cele din urmă poziția fundamentală pe care în mecanica newtoniană o deținuseră punctele materiale. Inițial însă aceasta se aplică numai pentru cîmpuri electromagnetice în spațiul vid.

La început teoria a fost total inoperantă pentru interiorul materiei, fiindcă aici trebuiau introduși doi vectori electrici legați prin relații dependente de natura mediului și inaccesibile analizei teoretice. O situație analogă s-a ivit în legătură cu cîmpul magnetic, ca și în relația dintre densitatea curentului electric și cîmp.

H. A. Lorentz a găsit aici o ieșire care a arătat în același timp calea spre o teorie electrodinamică a corpurilor în mișcare, teorie într-o anumită măsură liberă de supoziții arbitrare. Teoria sa a fost construită pe următoarea ipoteză fundamentală:

Pretutindeni (inclusiv în interiorul corpurilor ponderabile) sediul cîmpului este spațiul vid. Participarea materiei la fenomene electromagnetice își are originea numai în faptul că particulele elementare de materie poartă sarcini electrice imuabile, fiind de aceea supuse pe de o parte la acțiunile unor forțe ponderomotoare, iar pe de altă parte avînd proprietatea de a genera un cîmp. Particulele elementare ascultă de legea newtoniană a mișcării pentru punctul material.

Aceasta este baza pe care H. A. Lorentz a realizat sinteza sa între mecanica lui Newton și teoria cîmpului a lui Maxwell. Neajunsul acestei teorii ține de faptul că ea încearcă să determine fenomenele combinînd ecuații diferențiale parțiale (ecuațiile maxwelliene ale cîmpului pentru spațiul vid) cu ecuații diferențiale totale (ecuații de mișcare a punctelor), procedeu evident nenatural. Partea nesatisfăcătoare a acestei concepții s-a vădit în exterior prin necesitatea admiterii unor dimensiuni finite pentru particule, pentru a împiedica astfel cîmpul electromagnetic existent pe suprafețele lor să devină infinit de mare. În plus, teoria n-a izbutit să ofere nici o explicație asupra naturii uriașelor forțe ce țin sarcinile electrice în particule individuale. H. A. Lorentz a acceptat aceste slăbiciuni ale teoriei sale, care-i erau bine cunoscute, pentru a putea explica fenomenele corect măcar în liniile lor generale.

Următoarea considerație a permis ieșirea dincolo de cadrele lui Lorentz. În vecinătatea unui corp încărcat

electric există un cîmp magnetic ce contribuie (aparent) la inerția lui. N-ar fi oare posibil să se dea o explicație electromagnetică inerției totale a particulelor? Este clar că această problemă nu putea fi soluționată satisfăcător decît dacă particulele puteau fi interpretate drept soluții regulate ale ecuațiilor diferențiale parțiale electromagnetice. Or, ecuațiile lui Maxwell în forma lor originară nu permit o asemenea descriere a particulelor, deoarece soluțiile lor corespunzătoare conțin o singularitate. Fizicienii teoreticieni au încercat de aceea mult timp să atingă scopul menționat printr-o modificare a ecuațiilor lui Maxwell. Aceste încercări însă n-au fost încununate de succes. Așa se face că obiectivul edificării unei teorii a materiei sub forma unei teorii electromagnetice pure a cîmpului n-a putut fi atins pentru moment, deși în principiu nu se putea ridica nici o obiecție împotriva posibilității realizării unui asemenea obiectiv. Ceea ce a descurajat continuarea încercărilor în această direcție a fost lipsa oricărei metode sistematice care să ducă la o soluție. Un lucru mi se pare însă sigur: în fundamentele unei teorii consecvente a cîmpului nu este permis să intervină, alături de conceptul de cîmp, conceptul de particulă. Întreaga teorie trebuie bazată numai pe ecuații diferențiale parțiale și pe soluțiile lor fără singularități.[14]

5. Teoria relativității

Nu există nici o metodă inductivă pe baza căreia să se obțină conceptele fundamentale ale fizicii. Neînțelegerea acestui fapt a reprezentat eroarea filozofică principală a unui mare număr de cercetători din secolul al XIX-lea. Aceasta a fost probabil cauza pentru care teoria moleculară și teoria lui Maxwell s-au putut impune numai la o dată relativ tîrzie.[15] Gîndirea logică este în mod necesar deductivă; ea se întemeiază pe concepte și axiome ipotetice. Ce ne îndreptățește așteptarea că le-am putea alege pe acestea din urmă în așa fel încît să sperăm în confirmarea consecințelor lor?

Situația cea mai satisfăcătoare se poate întîlni, evident, în acele cazuri în care noile ipoteze fundamentale sînt sugerate de însăși lumea experienței. Ipoteza inexistenței unui perpetuum mobile — ca bază a termodinamicii — este un asemenea exemplu de ipoteză fundamentală sugerată de experiență, tot astfel și principiul inerției al lui Galilei. De același gen sînt și ipotezele fundamentale ale teoriei relativității, teorie care a condus la o extindere nebănuită și la o dezvoltare a teoriei cîmpului și în final la prăbușirea bazelor mecanicii clasice.[16]

Succesele teoriei Maxwell–Lorentz au dat o mare încredere în validitatea ecuațiilor electromagnetismului pentru spațiul vid și, de asemenea, în particular, în ideea că lumina se propagă „în spațiu" cu o anumită viteză constantă c. Această afirmație asupra constanței vitezei de propagare a luminii este validă în raport cu orice sistem inerțial? Dacă n-ar fi, atunci un anumit sistem inerțial special, mai exact o anumită stare a mișcării (a unui corp de referință) ar fi privilegiată în raport cu toate celelalte. Împotriva acestei idei pledează totuși toate faptele de experiență mecanice, electromagnetice și optice.

A fost de aceea necesar ca validitatea legii constanței vitezei luminii să fie ridicată la rangul de principiu pentru toate sistemele inerțiale. Din aceasta decurgea necesitatea transformării coordonatelor spațiale x_1, x_2, x_3 și a timpului x_4, în cazul trecerii de la un sistem inerțial la altul, în conformitate cu „transformarea Lorentz" ce se caracterizează prin invarianța expresiei:

$$ds_2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2$$

(dacă se alege unitatea pentru timp astfel încît viteza luminii $c = 1$).

Prin aceasta timpul și-a pierdut caracterul lui absolut și a fost inclus printre coordonatele „spațiale" avînd natură algebrică (aproape) similară. Caracterul absolut al timpului și în special al simultaneității a fost distrus,

iar descrierea cvadridimensională a fost introdusă ca singura adecvată.

Pentru a explica echivalența tuturor sistemelor inerțiale în raport cu toate fenomenele naturii este necesar să se postuleze invarianța tuturor sistemelor de ecuații fizice ce exprimă legi generale în raport cu transformarea Lorentz. Realizarea acestei exigențe formează conținutul teoriei speciale a relativității.

Această teorie este compatibilă cu ecuațiile lui Maxwell; dar ea este incompatibilă cu bazele mecanicii clasice. Este adevărat că ecuațiile de mișcare ale punctului material pot fi modificate și o dată cu ele și expresiile impulsului și energiei cinetice ale punctului material) într-o asemenea manieră încît să fie satisfăcută teoria; dar conceptul forței de interacțiune și, o dată cu el, conceptul de energie potențială a unui sistem își pierd temeiul deoarece aceste concepte se bazează pe ideea caracterului absolut al simultaneității. Cîmpul, așa cum este el determinat de ecuațiile diferențiale, ia locul forței.

Întrucît teoria de mai sus permite interacțiunile reciproce numai prin mijlocirea cîmpurilor, ea cere o teorie de cîmp a gravitației. Într-adevăr, nu e dificil să se formuleze o asemenea teorie în care, ca și în teoria lui Newton, cîmpul gravitațional să se poată reduce la un scalar care reprezintă soluția unei ecuații diferențiale cu derivate parțiale. Cu toate acestea, faptele experimentale pe care le exprimă teoria newtoniană a gravitației ne conduc în altă direcție, aceea a teoriei generale a relativității.

Un aspect nesatisfăcător al fundamentelor mecanicii clasice constă în dublul rol în care apare *aceeași* constantă a masei; ca „masă inerțială", în legea de mișcare și ca „masă gravitațională", în legea gravitației. Ca urmare a acestui fapt, accelerația unui corp într-un cîmp gravitațional pur este independentă de natura lui materială; sau, într-un sistem de coordonate în *accelerație uniformă* (accelerat în raport cu un „sistem inerțial"), mișcările se desfășoară ca și cînd ar avea loc într-un cîmp gravitațional omogen (în raport cu un sistem de coordonate „în

repaus"). Dacă se admite că echivalența acestor două cazuri este completă, atunci se obține o adaptare a gîndirii noastre teoretice la faptul că masa gravitațională și cea inerțială sînt identice.

Cu aceasta cade privilegierea, ca principiu fundamental, a „sistemelor inerțiale"; va trebui să admitem ca egal îndreptățite și transformările de coordonate *neliniare* (x_1, x_2, x_3, x_4). Dacă facem o asemenea transformare a unui sistem de coordonate al teoriei speciale a relativității, atunci metrica

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2$$

trece într-o metrică generală (riemanniană a lui Baue)

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu \quad \text{(însumați după } \mu \text{ și } \nu\text{)}$$

unde $g_{\mu\nu}$, simetrice în raport cu μ și ν, sînt anumite funcții de $x_1, \ldots, x_4$ care descriu atît proprietățile metrice cît și cîmpul gravitațional al spațiului în raport cu noul sistem de coordonate.

Acest progres în interpretarea fundamentelor mecanicii va trebui să fie plătit însă prin aceea că — după cum va deveni evident la o analiză mai atentă — noile coordonate nu mai pot fi interpretate nemijlocit ca rezultate ale unor măsurători cu corpuri rigide și ceasornice, cum se putea face în sistemul original (un sistem inerțial cu cîmp gravitațional care se anulează).

Trecerea la teoria generală a relativității se înfăptuiește prin supoziția că o asemenea reprezentare a proprietăților (adică printr-o metrică riemanniană) se justifică de asemenea și în cazul *general* în care nu există un sistem de coordonate în raport cu care metrica să ia forma cvasieuclidiană simplă a teoriei speciale a relativității.

Acum coordonatele, în sine, nu mai exprimă relații metrice, ci doar „vecinătăți" ale lucrurilor descrise, ale căror coordonate diferă puțin una de alta. Toate transformările de coordonate trebuie admise atîta timp cît

aceste transformări nu au singularități. Numai acele ecuații pot să fie admise ca expresii ale legilor generale ale naturii care sînt covariante în raport cu transformări arbitrare în acest sens (postulatul covarianței generale).

Primul obiectiv al teoriei generale a relativității a fost stabilirea unei formulări preliminare care, în condițiile renunțării la anumite exigențe ale închiderii interne, poate fi corelată în cea mai simplă manieră posibilă cu „faptele percepute direct". Teoria newtoniană a gravitației oferea un exemplu prin restrîngerea sa la mecanica pură a gravitației. Această formulare preliminară poate fi caracterizată prin următoarele:

(1) Conceptul de punct material și al masei lui sînt menținute. Legea de mișcare pentru el reprezintă traducerea legii inerției în limbajul teoriei generale a relativității. Această lege este un sistem de ecuații diferențiale totale ce caracterizează o linie geodezică.

(2) În locul legii newtoniene a interacțiunii gravitaționale se găsește sistemul celor mai simple ecuații diferențiale general covariante pe care le putem stabili pentru tensorul $g_{\mu\nu}$. El ia naștere făcînd egal cu zero tensorul de curbură riemannian contractat ($Rg_{\mu\nu} = 0$).

Această formulare ne permite să tratăm problema planetelor. Mai exact spus, ea permite examinarea problemei mișcării punctelor materiale de masă practic neglijabilă într-un cîmp gravitațional (central simetric) produs de un punct material presupus „în repaus". Ea nu ia în considerare reacția punctelor materiale „în mișcare" asupra cîmpului gravitațional, nici nu consideră modul în care masa centrală produce acest cîmp gravitațional.

Analogia cu mecanica clasică ne arată că teoria poate fi completată pe calea următoare. Se ia ca ecuație de cîmp:

$$R_{ik} - \tfrac{1}{2} g_{ik} R = -T_{ik}$$

unde R reprezintă scalarul curburii riemanniene, T_{ik} tensorul energie al materiei într-o reprezentare fenomenologică. Partea stîngă a ecuației este aleasă astfel încît divergența ei este simultan egală cu zero. Rezultatul obținut prin această anulare a divergenței membrului drept ne dă „ecuațiile de mișcare" ale materiei sub forma ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale pentru cazul în care T_{ik} introduce, pentru descrierea materiei, numai *patru* alte funcții reciproc independente (de exemplu, densitatea, presiunea și componentele vitezei, unde între ultimele are loc o identitate, iar între presiune și densitate o ecuație de condiție).

Prin această formulare se reduce întreaga mecanică a gravitației la soluționarea unui singur sistem de ecuații diferențiale parțiale covariante. Teoria înlătură toate dificultățile interne de care era afectată baza mecanicii clasice. Ea este suficientă — după cîte știm — pentru reprezentarea faptelor observate ale mecanicii cerești. Dar ea se aseamănă unei clădiri care are o aripă din marmură fină (partea stîngă a ecuației), pe cînd o altă aripă este făcută din lemn lipsit de valoare (partea dreaptă a ecuației). Reprezentarea fenomenologică a materiei nu este decît un substitut imperfect pentru o reprezentare care ar corespunde tuturor proprietăților cunoscute ale materiei.

Nu este greu să se unifice teoria cîmpului electromagnetic a lui Maxwell cu teoria cîmpului gravitațional, atîta vreme cît ne restrîngem la spațiul fără materie ponderabilă și fără densitate electrică. Tot ceea ce este necesar să se facă este să se ia în al doilea membru al ecuației de mai sus pentru T_{ik}, tensorul energiei pentru cîmpul electromagnetic în spațiul vid, și să se asocieze cu sistemul ecuațiilor astfel modificate ecuația de cîmp a lui Maxwell pentru spațiul vid, scrisă în forma generală covariantă. În aceste condiții va exista între toate aceste ecuații un număr suficient de identități diferențiale pentru a garanta compatibilitatea sistemului. Putem adăuga că această proprietate formală necesară a sistemului

total de ecuații lasă deschisă alegerea semnului membrului T_{ik}, fapt ce s-a dovedit ulterior a fi important.

Năzuința spre cea mai înaltă unitate posibilă a fundamentelor unei teorii a determinat cîteva încercări de a include cîmpul gravitațional și cîmpul electromagnetic într-o singură imagine formală omogenă. În acest sens trebuie să menționăm în special teoria cu 5 dimensiuni a lui Kaluza și Klein. După ce am examinat cu mare atenție această posibilitate, cred că este mai potrivit să se accepte lipsa de uniformitate internă a teoriei originale, deoarece nu consider că totalitatea ipotezelor de bază ale teoriei cu 5 dimensiuni conține mai puține elemente arbitrare decît conține teoria originală. Aceeași afirmație se poate face și despre varianta degenerată proiectivă a teoriei, care a fost elaborată atent în special de van Dantzig și Pauli.

Considerațiile de mai sus se referă exclusiv la teoria cîmpului fără materie. Cum trebuie să procedăm mai departe pentru a obține o teorie completă a materiei constituite din atomi? Într-o asemenea teorie trebuie, în orice caz, să fie excluse singularitățile, deoarece altminteri ecuațiile diferențiale n-ar determina complet cîmpul total. Aici, în teoria de cîmp a relativității generale, întîlnim aceeași problemă a reprezentării teoretice de cîmp a materiei, așa cum au apărut originar numai pentru teoria lui Maxwell.

Și aici încercarea de a construi particulele pornind de la teoria cîmpului conduce, evident, la singularități. Și aici a fost făcută încercarea de a se depăși acest inconvenient prin introducerea unor noi variabile de cîmp și prin complicarea și extinderea sistemului ecuațiilor cîmpului. Recent, am descoperit totuși, în colaborare cu dr. Nathan Rosen, că cea mai simplă combinație între ecuațiile de cîmp ale gravitației și electricității menționată mai sus produce soluții central-simetrice pe care le putem considera fără singularități (bine cunoscutele soluții central-simetrice ale lui Schwartzschild pentru cîmpul gravitațional pur și cele ale lui Reissner pentru cîmpul

electric luînd în considerare acțiunea sa gravitațională). Mă voi referi pe scurt la acestea în paragraful 6. În felul acesta pare posibil să se obțină pentru materie și interacțiunile ei o teorie pură a cîmpului fără ipoteze adiționale, teorie ce poate fi supusă controlului experimental fără să producă alte dificultăți decît cele de ordin pur matematic, e adevărat, foarte serioase.

6. Teoria cuantică și fundamentele fizicii

Fizicienii teoreticieni ai generației noastre speră în edificarea unei noi baze teoretice pentru fizică în care se vor utiliza concepte fundamentale, mult diferite de cele ale teoriei cîmpului la care ne-am referit pînă acum. Aceasta datorită faptului că s-a dovedit necesar — pentru reprezentarea matematică a așa-ziselor fenomene cuantice — să se folosească abordări de un tip nou.

În timp ce eșecul mecanicii clasice, așa cum a fost acesta relevat de teoria relativității, este legat de viteza finită a luminii (excluderea vitezei infinite), la începutul secolului nostru s-a descoperit existența unui alt gen de dezacord între consecințele deductive ale mecanicii și faptele experimentale, corelat cu mărimea finită (excluderea valorii zero) a constantei h a lui Planck, și anume că, în timp ce mecanica moleculară cere ca atît căldura cît și densitatea radiației (monocromatice) ale corpurilor solide să descrească *proporțional* cu descreșterea temperaturii absolute, experiența a arătat că ele descresc mult mai rapid o dată cu descreșterea temperaturii. Pentru a explica teoretic acest comportament a fost necesar să se admită că energia unui sistem mecanic nu poate lua orice valoare, ci anumite valori discrete ale căror expresii matematice depindeau mereu de constanta h a lui Planck. Această concepție s-a dovedit esențială și pentru teoria atomului (teoria lui Bohr). Pentru tranziția atomilor dintr-o stare în alta — cu sau fără emisie sau absorbție de radiație — nu se pot da legi cauzale, ci numai

unele statistice; o concluzie similară e validă pentru dezintegrarea radioactivă a atomilor, care fusese atent studiată în aceeași perioadă. Mai mult de două decenii fizicienii au încercat fără succes să găsească o interpretare unitară acestei „mecanici cuantice" a sistemelor și fenomenelor. O asemenea încercare a reușit însă cu vreo zece ani în urmă, prin două metode teoretice aparent complet diferite. Una dintre acestea o datorăm lui Heisenberg și Dirac, iar pe cealaltă lui de Broglie și Schrödinger. Echivalența matematică a acestor două metode a fost repede recunoscută de către Schrödinger. Voi încerca să schițez linia de gîndire a lui de Broglie și Schrödinger, care e mai apropiată de modul de gîndire al fizicianului, și voi însoți această descriere de anumite considerații mai generale.

Mai întîi problema se pune astfel: cum se poate atribui o succesiune directă de valori ale energiei H_0 unui sistem determinat în sensul mecanicii clasice (energia este o funcție dată de coordonatele q_r și impulsurile corespunzătoare pr)? Constanta h a lui Planck corelează valorile frecvenței $\frac{1}{h} H_0$ cu valorile energiei H_0. Este ca urmare suficient să se dea unui sistem o serie discretă de valori ale *frecvenței*. Aceasta ne amintește de faptul că în acustică o serie de valori discrete de frecvență corespund unei ecuații diferențiale parțiale liniare (dacă se cunosc condițiile la limită), și anume soluții sinusoidale periodice. Schrödinger și-a pus problema de a pune în corespondență cu funcția de energie dată $\varepsilon(q_r, p_r)$, o ecuație diferențială parțială pentru o funcție scalară ψ unde q_r și timpul t sînt variabile independente. El a reușit să facă aceasta (pentru o funcție complexă) ψ astfel încît valorile teoretice ale energiei H_0, așa cum erau cerute de teoria statistică, să reprezinte efectiv într-o manieră satisfăcătoare soluțiile periodice ale ecuației.

Se înțelege, n-a fost posibil să se asocieze unei soluții determinate $\psi(q_r, t)$ a ecuației lui Schrödinger o mișcare determinată în sensul mecanicii punctelor materiale.

Aceasta înseamnă că funcției ψ nu-i corespunde, în orice caz ei nu-i corespunde *exact*, o reprezentare a lui q_r ca funcție de timpul t. Totuși, urmîndu-l pe Born, semnificația fizică a funcției ψ poate fi interpretată astfel: $|\psi|^2$ (pătratul valorii absolute a unei funcții complexe ψ) reprezintă densitatea de probabilități în punctul considerat în spațiul configurațiilor al lui q_r la timpul t. Inductiv, dar oarecum imprecis, se poate caracteriza conținutul ecuației lui Schrödinger în modul următor: ea determină felul în care se modifică în timp densitatea de probabilități a unui ansamblu statistic de sisteme în spațiul configurațiilor. Pe scurt: ecuația lui Schrödinger determină modificarea funcției qr în timp.

Trebuie să amintim că rezultatele acestei teorii conțin drept cazuri limită rezultatele mecanicii particulelor dacă lungimea de undă cu care ne întîlnim în rezolvarea problemei lui Schrödinger este peste tot suficient de mică, așa încît energia potențială variază cu o mărime practic infinit mică pentru o schimbare a unei lungimi de undă în spațiul configurațiilor. În aceste condiții se pot demonstra următoarele. Alegem o regiune G_0 în spațiul configurațiilor care, deși este mare (în orice direcție) în raport cu lungimea de undă, este mică în raport cu dimensiunile practice ale spațiului configurațiilor. În aceste condiții este posibil să se aleagă o funcție ψ pentru momentul inițial t_0, astfel încît ea se anulează în afara regiunii G_0, și se comportă, conform ecuației lui Schrödinger, de așa manieră încît ea își menține această proprietate — cel puțin aproximativ — de asemenea și pentru un moment ulterior al timpului, dar pentru o regiune G_0 care a trecut la timpul t într-o altă regiune G. În acest fel se poate vorbi, cu un anumit grad de aproximație, de „mișcarea“ regiunii G ca întreg și se poate aproxima această mișcare prin mișcarea unui punct în spațiul configurațiilor. Această mișcare va coincide atunci cu mișcarea cerută de ecuațiile mecanicii clasice.

Experimentele de interferență cu raze corpusculare au adus o confirmare strălucită a faptului că natura ondulatorie a fenomenelor de mișcare, așa cum apare ea în teorie, corespunde realmente cu faptele. În plus, teoria a reușit să reprezinte cu ușurință legile statistice ale tranziției unui sistem de la o condiție cuantică la alta sub acțiunea forțelor externe, ceea ce, din punctul de vedere al mecanicii clasice, apărea ca un miracol. Forțele exterioare erau reprezentate aici prin mici adaosuri, dependente de timp, la energia potențială. În timp ce în mecanica clasică asemenea adaosuri pot produce doar schimbări corespunzător de mici ale stării sistemului, în mecanica cuantică ele produc schimbări oricît de mari, dar cu probabilitatea corespunzător de mică, o consecință în perfectă armonie cu experiența.

Teoria a oferit chiar și o înțelegere a legilor dezintegrării radioactive, cel puțin în linii esențiale.

Niciodată pînă acum nu a fost elaborată o teorie care să ofere cheia interpretării și calculării unui grup atît de eterogen de fenomene de experiență cum a făcut mecanica cuantică. Totuși, în ciuda acestui fapt, cred că teoria poate să ne poarte pe căi eronate, în căutarea unor fundamente unitare, pentru fizică, deoarece, în opinia mea, ea este o reprezentare *incompletă* a lucrurilor reale[17], deși este singura ce poate fi construită pe baza conceptelor fundamentale de forță și punct material (corectarea cuantică a mecanicii clasice). Incompletitudinea reprezentării este un rezultat al naturii statistice (incompletitudinea) a legilor. Voi încerca să justific această opinie.

La început, vom întreba: în ce măsură funcția ψ descrie starea reală a unui sistem mecanic? Să admitem că ψ_r reprezintă soluții periodice (luate în ordinea creșterii valorilor energiei) ale ecuației lui Schrödinger. Vom lăsa deschisă, pentru moment, problema în ce măsură ψ_r luate individual sînt descrieri *complete* ale stărilor fizice. La început sistemul se află în starea ψ_1 cu cea mai mică energie e_1. Apoi, după un interval finit de timp, o forță perturbatoare mică acționează asupra sistemului. La un

moment ulterior se obține deci din ecuația lui Schrödinger o funcție de forma

$$\psi = \sum C_r \psi_r$$

unde C_r sînt constante (complexe). Dacă sînt „normale", atunci $|C_1|$ este aproape egal cu 1, $|C_2|$ etc. sînt mici în comparație cu 1; acum ne putem întreba: descrie ψ o stare reală a sistemului? Dacă răspunsul este da, atunci singurul lucru care ne mai rămîne este să-i atribuim* o asemenea energie determinată de ε și, în particular, o asemenea energie ce depășește ε_1 cu puțin (în orice caz $\varepsilon_1<\varepsilon<\varepsilon_2$). O asemenea supozitie este însa în contradictie cu experientele realizate mai întîi de J. Franck si G. Hertz asupra ciocnirii electronilor, dacă vom accepta în plus demonstrația lui Millikan asupra naturii discrete a electricității. De fapt, aceste experimente duc la concluzia ca nu există stări ale energiei unui sistem care să se afle între valorile cuantice. Din aceasta decurge faptul că funcția noastră ψ nu descrie în nici un caz o stare unitară a corpului, ci constituie mai degrabă o descriere statistică în care C_r reprezintă probabilități ale valorilor individuale ale energiei. Pare clar deci că interpretarea statistică a teoriei cuantice a lui Born este singura posibilă. Funcția ψ nu descrie o stare care ar putea fi aceea a unui singur sistem; ea se raportează mai degrabă la mai multe sisteme, la un „ansamblu de sisteme", în sensul mecanicii statistice. Dacă, exceptînd anumite cazuri speciale, funcția furnizează doar date *statistice* privind mărimi observabile, cauza se află nu doar în aceea că *operația de măsurare* introduce elemente necunoscute, care pot fi înțelese doar statistic, ci și în însuși faptul că funcția ψ nu descrie, în nici un sens, starea unui *singur*

* Deoarece, conform unei consecințe bine fundate a teoriei relativității, energia unui sistem complet (în repaus) este egală cu inerția lui (ca întreg). Iar aceasta, desigur, trebuie să posede o anumită valoare bine determinată.

sistem. Ecuația lui Schrödinger determină modificările în timp pe care le suferă ansambluri de sisteme, variații ce pot exista indiferent de acțiunea exterioară asupra unui sistem singular.[18]

O asemenea interpretare elimină de asemenea paradoxul formulat recent de mine împreună cu doi colaboratori, care se referă la următorul caz:

Să considerăm un sistem mecanic alcătuit de două sisteme parțiale A și B care au interacționat reciproc numai într-un interval de timp limitat. Fie dată funcția ψ înainte de interacțiunea lor. Atunci ecuația lui Schrödinger va furniza funcția ψ după ce interacțiunea a avut loc. Să determinăm acum prin măsurători complete starea fizică a sistemului parțial A. Atunci mecanica cuantică ne permite să determinăm funcția ψ a sistemului parțial B din aceste măsurători și din funcția ψ a sistemului total. Această determinare va oferi însă un rezultat ce va depinde de *care* anume dintre mărimile determinate ce specifică starea sistemului A a fost măsurată (de exemplu, *coordonatele* sau *impulsul*). Dar, întrucît nu poate exista decît o *singură* stare fizică a lui B după interacțiunea cu A, stare care în mod rațional nu poate fi considerată dependentă de măsurătorile speciale pe care le efectuăm asupra sistemului A, separat de B, vom putea trage concluzia că funcția ψ *nu* corespunde fără echivoc stării fizice. Corespondența unui număr mai mare de funcții ψ cu aceeași stare fizică a sistemului B ne arată din nou că funcția ψ nu poate fi interpretată ca o descriere (completă) a unei stări fizice a unui sistem. Și aici, punerea în corespondență a funcției ψ cu un ansamblu de sisteme elimină orice dificultate*.

Faptul că mecanica cuantică permite, într-o manieră atît de simplă, concluzii referitoare la tranziții (aparent)

* Operația de măsurare a lui A, de exemplu, conține în sine deja o tranziție la un ansamblu mai limitat de sisteme. Ultimul (și deci și funcția sa ψ) depinde de punctul de vedere conform căruia se

discontinue de la o stare fizică la alta fără a ne oferi realmente o reprezentare a proceselor specifice, este corelat cu un altul, și anume cu faptul că teoria nu operează în realitate cu sisteme singulare, ci cu ansambluri de sisteme. Coeficienții C_r din primul nostru exemplu sînt efectiv modificați foarte puțin prin acțiunea unei forțe exterioare. O asemenea interpretare a mecanicii cuantice ne permite să înțelegem de ce această teorie explică ușor capacitatea unor forțe perturbatoare mici de a provoca modificări oricît de mari ale stării fizice a sistemului. Asemenea forțe perturbatoare produc, într-adevăr, doar alterări corespunzătoare mici ale *densității statistice* în ansambluri de sisteme; și deci numai modificări infinit mici ale funcțiilor ψ, ale căror descrieri matematice prezintă dificultăți mult mai mici decît cele pe care le-ar implica reprezentarea matematică a modificărilor finite produse asupra unor părți ale sistemelor singulare. Fenomenul ce se întîmplă în sistemul singular rămîne, e drept, complet neclarificat prin acest mod de a considera lucrurile; el este eliminat complet din reprezentare de modalitatea statistică de abordare.

Dar acum vom întreba: Există realmente vreun fizician care să creadă că noi nu vom obține niciodată o cunoaștere asupra acestor modificări importante ale sistemelor singulare, asupra structurii lor și a conexiunilor lor cauzale, și aceasta independent de faptul că aceste procese individuale ne-au fost aduse atît de aproape grație minunatelor invenții ale camerei cu bule Wilson și contorului Geiger? A crede aceasta este o posibilitate logic necontradictorie; dar ea se opune cu atîta putere instinctului meu științific, încît nu pot să renunț la căutarea unei concepții mai cuprinzătoare.[19]

Acestor considerații am dori să le adăugăm unele de alt gen care se ridică de asemenea împotriva ideii că metodele introduse de mecanica cuantică ar fi apte de a oferi o bază utilă pentru întreaga fizică. În ecuația lui Schrödinger, timpul absolut, respectiv energia potențială, joacă un rol decisiv, deși aceste două concepte au fost

recunoscute de teoria relativității ca inadmisibile în principiu. Dacă dorim să scăpăm de această dificultate ar trebui să întemeiem teoria pe noțiunea de cîmp și pe legi ale cîmpului, în locul forțelor de interacțiune. Aceasta ne conduce la transpunerea metodelor statistice ale mecanicii cuantice la cîmpuri, cu alte cuvinte la sisteme cu un număr infinit de grade de libertate. Deși încercările făcute pînă acum se limitează la ecuații liniare, care, așa cum știm din teoria generală a relativității, sînt insuficiente, complicațiile apărute pînă acum în cadrul celor mai ingenioase încercări sînt de-a dreptul îngrozitoare. Ele ar deveni uriașe în cazul în care s-ar dori să se satisfacă exigențele teoriei generale a relativității, asupra justeței principiale a acestora neîndoindu-se nimeni.

Trebuie să observăm, în fine, că introducerea continuului spațiu-timp poate fi considerată nefirească, dată fiind structura moleculară a oricărui proces ce se desfășoară la scară mică. Se susține că succesul metodei lui Heisenberg justifică poate o metodă algebrică pură de descriere a naturii, cu alte cuvinte eliminarea funcțiilor continue din fizică. Dar atunci va trebui să renunțăm, în principiu, la folosirea continuului spațiu-timp. Nu este de neimaginat că ingeniozitatea umană va găsi cîndva metode ce ne vor da posibilitatea să mergem pe această cale. În momentul actual un asemenea program ne pare totuși asemănător cu o încercare de a respira într-un spațiu vid.

Nu este nici o îndoială că în mecanica cuantică se găsește un important element de adevăr și că ea va reprezenta o piatră de încercare pentru orice fundament teoretic viitor, deoarece ea va trebui dedusă ca un caz particular din acest fundament, la fel cum se deduce electrostatica din ecuațiile lui Maxwell pentru cîmpul electromagnetic sau termodinamica din mecanica clasică. Cu toate acestea nu cred că mecanica cuantică va reprezenta *punctul de plecare* în căutarea acestui fundament, la fel cum, viceversa, nu se poate merge de la termodinamică (respectiv, mecanica statistică) la fundamentele mecanicii.[20]

Dată fiind această situație, pare a fi complet îndreptățită considerarea serioasă a problemei în ce măsură fundamentele fizicii cîmpului ar putea fi puse de acord cu faptele teoriei cuantice. Aceasta reprezintă singura bază care, în stadiul actual al mijloacelor noastre de expresie matematică, poate fi adaptată la postulatul teoriei generale a relativității; convingerea, dominantă printre fizicienii actuali, că o asemenea încercare este sortită eșecului și-ar putea avea rădăcinile în ideea nejustificată că o asemenea teorie va duce, într-o primă aproximație, la ecuațiile mecanicii clasice pentru mișcarea particulelor sau cel puțin la ecuațiile diferențiale totale. De fapt, pînă acum n-am reușit niciodată să reprezentăm teoretic particule prin cîmpuri fără singularități și nu putem să spunem nimic *a priori* cu privire la comportarea unor asemenea entități. *Un lucru* este totuși cert: dacă o teorie a cîmpului va duce la reprezentarea particulelor fără singularități, atunci comportarea acestor particule în timp este determinată exclusiv de ecuațiile diferențiale ale cîmpului.

7. Teoria relativității și particulele

Aș dori acum să demonstrez că, în conformitate cu teoria generală a relativității, există soluții fără singularități ale ecuațiilor de cîmp ce pot fi interpretate ca reprezentări ale particulelor.[21] Mă voi limita aici la particulele neutre deoarece într-o altă lucrare recent publicată împreună cu dr. Nathan Rosen am analizat această problemă într-o manieră mai detaliată și deoarece în acest caz special putem evidenția în mod complet ceea ce este esențial în problemă.

Cîmpul gravitațional este în întregime descris de tensorul $g_{\mu\nu}$. În simbolul triplu indexat $\Gamma^{\sigma}_{\mu\nu}$ apar de asemenea și contravariante $g^{\mu\nu}$ care sînt definte ca minorii lui $g_{\mu\nu}$ divizați prin determinantul g ($= |g_{\alpha\beta}|$). Pentru ca elementele lui R_{ik} să fie definite și finite nu este

suficient numai să existe, pentru vecinătatea oricărui punct al continuului, un sistem de coordonate în care $g_{\mu\nu}$ și derivatele lor de ordinul întîi să fie continue și diferențiabile, dar este de asemenea necesar ca determinantul g să nu se anuleze nicăieri. Această ultimă restricție poate fi eliminată dacă se înlocuiesc ecuațiile diferențiale $R_{ik} = 0$, prin $g^2 R_{ik} = 0$, partea din stînga fiind alcătuită din funcții raționale *întregi* ale lui g_{ik} și ale derivatelor lor.

Aceste ecuații au soluțiile central simetrice indicate de Schwartzschild.

Această soluție are o singularitate pentru $r = 2m$, deoarece coeficienții lui dr^2 (adică g_{11}) devin infiniți pe această hipersuprafață. Dacă, totuși, vom înlocui variabila r prin ρ, definită prin ecuația

obținem

Această soluție se comportă regulat pentru toate valorile lui ρ. Anularea coeficienților lui dt^2, adică g_{44} pentru $\rho = 0$ rezultă, e adevărat, datorită faptului că determinantul g se anulează pentru această valoare; ceea ce însă pentru metodele de scriere a ecuațiilor de cîmp actualmente adoptate nu constituie o singularitate.

Dacă ρ se extinde de la $-\infty$ la $+\infty$, atunci r se extinde de la $+\infty$ la $r = 2m$ și după aceea înapoi la $+\infty$, pe cînd pentru asemenea valori ale lui r corespunzînd lui $r < 2m$ nu există valori reale corespuzătoare pentru ρ. De aici decurge că soluția Schwartzschild devine o soluție regu-

lată dacă ne reprezentăm spațiul fizic constînd din două „pături" identice care se învecinează pe hipersuprafața $\rho = 0$, adică $r = 2m$, în timp ce determinantul g pentru această hipersuprafață devine nul. Vom numi o asemenea conexiune între două pături (identice) un „pod". Ca urmare, existența unui asemenea „pod" între cele două pături în domeniul finit corespunde existenței unei particule materiale neutre care e descrisă fără singularități.

Rezolvarea problemei mișcării particulelor neutre conduce în mod evident la descoperirea unor asemenea soluții ale ecuațiilor gravitaționale (scrise fără numitori), care conțin cîteva poduri.

Concepția schițată mai sus corespunde *a priori* structurii atomice a materiei în măsura în care „podul" este prin natura sau un element discret. Mai mult, constanta de masă m a particulelor neutre trebuie să fie în mod necesar pozitivă, deoarece nici o soluție fără singularități nu poate să corespundă soluției Schwartzschild pentru o valoare negativă a lui m. Numai cercetarea problemei mai multor poduri ne poate arăta dacă această metodă teoretică oferă o explicație a egalității probate empiric a maselor particulelor găsite în natură, și dacă ea poate explica faptele pe care mecanica cuantică le-a interpretat minunat.

Într-o manieră analogă este posibil să se demonstreze că ecuațiile combinate ale gravitației și electricității (cu alegerea corespunzătoare a semnului membrului electric în ecuațiile gravitației) produc o reprezentare — pod fără singularități — a unei particule electrice. Cea mai simplă soluție de acest gen este aceea pentru o particulă electrică fără masă gravitațională.

Atîta vreme cît dificultățile matematice importante legate de rezolvarea problemei „mai multor poduri" nu sînt depășite, nu putem spune nimic cu privire la utilitatea teoriei din punct de vedere fizic. Cu toate acestea, ea reprezintă prima tentativă de elaborare consecventă a unei teorii de cîmp care oferă posibilitatea explicării proprietăților materiei. În favoarea acestei încercări trebuie

să adăugăm, de asemenea, că ea se întemeiază pe cele mai simple ecuații relativiste de cîmp cunoscute azi.

8. Rezumat

Fizica reprezintă un sistem logic de idei aflat în stare de evoluție, a cărui bază nu se poate obține distilînd-o prin vreo metodă inductivă din datele experienței, ci numai prin invenție liberă. Justificarea (conținutul de adevăr) sistemului se întemeiază pe confirmarea de către datele experienței a utilității teoremelor deduse; relația dintre ultimele și primele poate fi înțeleasă numai intuitiv. Evoluția sistemului se desfășoară în direcția creșterii simplicității bazei logice. Pentru a ne apropia de acest țel trebuie să ne împăcăm cu faptul că fundamentele logice se îndepărtează tot mai mult de faptele experienței și că drumul gîndirii noastre de la fundamente la teoremele rezultate corelate cu experiența devine tot mai lung și greu.[22]

Scopul nostru a fost acela de a schița cît mai concis evoluția conceptelor fundamentale, evoluție dependentă de faptele experienței și de tendința spre atingerea perfecțiunii interne a sistemului. Mi se pare că starea actuală a lucrurilor va fi clarificată cu ajutorul acestor considerații. (În mod inevitabil această reprezentare istorică schematică a avut o anumită coloratură personală.)[23]

M-am străduit să arăt cum sînt corelate reciproc și cu natura experienței conceptele de obiect corporal, spațiu, timpul subiectiv și obiectiv. În mecanica clasică, conceptele de spațiu și timp sînt independente unul de altul. Conceptul de obiect corporal este înlocuit în fundamente de conceptul de punct material, prin care mecanica a devenit esențial atomistă. Lumina și electricitatea au produs dificultăți insurmontabile atunci cînd s-a încercat să se facă din mecanică fundamentul întregii fizici. Aceasta a condus la teoria de cîmp a electricității și, ulte-

rior, la încercarea de a întemeia fizica în întregime pe conceptul de cîmp (după o încercare de compromis cu mecanica clasică). Această încercare a dus la teoria relativității (transformarea noțiunilor de spațiu și timp în noțiunea unui continuu cu o structură metrică).

Am încercat mai departe să arăt de ce, în opinia mea, teoria cuantică nu pare a fi capabilă să ofere un fundament util pentru fizică: încercarea de a considera teoria cuantică drept o descriere completă a sistemelor sau proceselor fizice individuale conduce în mod inevitabil la contradicții.

Pe de altă parte, în momentul de față teoria cîmpului nu este în stare să ofere o explicație a structurii moleculare a materiei și a fenomenelor cuantice. Convingerea că teoria cîmpului n-ar fi capabilă să ofere, cu metodele ei, o soluție acestor probleme se dovedește a fi bazată pe o prejudecată.

NOTE

1. Einstein își previne cititorul că reflecțiile fizicianului teoretician asupra cunoașterii științifice și asupra cunoașterii omenești în genere nu sînt făcute pur și simplu de dragul filozofiei. Dimpotrivă, considerațiile filozofice de acest fel urmăresc să creeze cadrul necesar pentru o examinare critică a fundamentelor teoretice ale disciplinei. Ele sînt inspirate, așadar, de o intenție mai „practică".

2. Einstein a afirmat nu o dată că natura conceptelor și raportul lor cu impresiile senzoriale sînt în esență aceleași în gîndirea științifică și în gîndirea comună. Orice încercare de clarificare a naturii cunoașterii științifice trebuie să pornească, prin urmare, de la exprimarea cunoașterii comune.

3. Einstein face aici două considerații asupra relației dintre noțiuni și impresiile senzoriale, considerații pe care le va relua și în alte scrieri. În primul rînd se afirmă că relația dintre noțiuni și impresiile senzoriale corespunzătoare nu este una *logică*; noțiunile nu sînt derivate din impresiile senzoriale printr-un proces logic oarecare, cum ar fi abstractizarea și generalizarea. În al doilea rînd, se susține că noțiunile despre obiecte corporale, despre însușiri, și relații ale acestor obiecte, devine lipsite de semnificație de îndată ce nu pot fi puse într-o relație de corespondență cu anumite impresii senzoria-

le. Vezi în această privință și *Fundamentele fizicii teoretice*, *Observații asupra teoriei cunoașterii a lui Bertrand Russell* și *Note autobiografice*.

4. În opoziție cu realismul gîndirii comune, Einstein subliniază că „obiectele corporale" nu ne sînt date ca atare, ci sînt „postulate" de gîndire. Nu există probe directe, ci doar indirecte în favoarea existenței obiectelor corporale independent de experiența noastră. Prin postularea obiectelor corporale, ca realități obiective, putem să explicăm capacitatea noțiunilor de a coordona și anticipa în mod sistematic impresiile senzoriale. Este cea mai simplă și mai naturală explicație, dacă nu cumva ne resemnăm să renunțăm la explicația funcției ordonatoare eminente a noțiunilor comune și științifice. Einstein nu formulează clar această idee. El evită să o facă probabil deoarece simte că o asemenea presupunere este, pe de o parte, firească, naturală, iar, pe de altă parte, incontrolabilă și în acest sens „metafizică".

5. În contextul considerațiilor sumare de mai sus, această sentință atît de mult invocată a lui Einstein ne apare ca enigmatică. Sensul ei ni se dezvăluie atunci cînd Einstein asociază „inteligibilitatea" sau „raționalitatea" universului cu ideea că structurile sale de adîncime sînt simple. Tocmai aceasta explică succesul uimitor al activităților ordonatoare pe care le realizează gîndirea comună și apoi știința prin postularea unor noțiuni și principii de un nivel tot mai înalt de generalitate. „Găsiți curios — îi scria Einstein lui Solovine — că eu consider posibilitatea de a înțelege lumea ca un miracol sau ca un mister etern. Ei bine, *a priori* ne putem aștepta la o lume haotică care nu poate fi surprinsă în nici un fel de gîndire. Am putea să ne așteptăm ca lumea să fie supusă legii numai în măsura în care intervenim noi cu inteligența noastră ordonatoare… Felul de ordine creat de teoria generală a relativității este, dimpotrivă, de cu totul altă natură. Chiar dacă axiomele teoriei sînt formulate de oameni, succesul unei asemenea întreprinderi presupune un înalt grad de ordine a lumii obiective, pe care nu am fi autorizați cîtuși de puțin să o așteptăm în mod *a priori*. Acesta este «miracolul» ce se întărește tot mai mult o dată cu dezvoltarea cunoștințelor noastre." (A. Einstein, *Lettres à M. Solovine*, p. 115)

6. Considerațiile de mai sus au constituit punctul de plecare pentru elaborarea unei problematici care a devenit consacrată în filozofia analitică a științei de la mijlocul secolului, îndeosebi datorită lucrărilor lui R. Carnap. Este vorba de problematica raporturilor dintre *conceptele de observație* și *conceptele teoretice*. Logicienii științei s-au concentrat îndeosebi asupra analizei așa-numitelor *reguli de corespondență* ce stabilesc corelații între aceste două tipuri de concepții. Vezi în această privință articolul clasic al lui Carnap, *The Methodological Character of Theoretical Concepts*, în (eds.) H. Feigl, M. Scriven, *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. I, 1956.

7. Aceasta este o formulare deosebit de limpede a principiului simplității logice, un principiu care este pentru Einstein o exigență fundamentală în construcția reprezentării conceptuale a unui domeniu al experienței. Cunoașterea științifică se impune în raport cu gîndirea comună tocmai fiindcă realizează o unificare incomparabil mai mare a experiențelor disparate. Einstein vede progresul teoriilor în dezvoltarea istorică a cunoașterii fizice tocmai în satisfacerea într-o măsură tot mai mare a acestei cerințe.

8. Einstein califică punctul de vedere că structurile fundamentale ale universului sînt simple, că lumea naturală realizează idealul simplității matematice, drept o „credință". Este un punct de vedere ce nu poate fi întemeiat în mod constrîngător. Einstein afirmă totuși că succesele de pînă acum ale științei matematice a naturii fac ca o asemenea credință să ne apară plauzibilă.

9. Pentru alte considerații de acest fel vezi și prima parte a articolului *Geometrie și experiență*.

10. O expresie clasică a „erorii" la care se referă Einstein aici este concepția lui Kant despre caracterul sintetic *a priori* al enunțurilor geometriei euclidiene. Pentru critica acestei concepții pornind de la un punct de vedere antiintuiționist, formalist, asupra naturii geometriei matematice, vezi și *Geometrie și experiență*.

11. Pentru dezvoltarea acestei idei, vezi îndeosebi articolul *Ernst Mach*.

12. Pentru considerații asemănătoare, vezi și *Despre metoda fizicii teoretice*.

13. Mach, spre deosebire de Mill, nu a fost de fapt un inductivist. El credea că introducerea noțiunilor și principiilor fizicii este guvernată de cerința „economiei gîndirii". Esențiale nu sînt însă aici asemenea nuanțe epistemologice, ci caracterizarea punctului de vedere fundamental al orientării fenomenologice în fizică, o orientare care acordă preferințe conceptelor și corelațiilor ce sînt cît mai apropiate de datele observației și experimentului. Poziția lui Einstein, care consideră că descrierea unei varietăți cît mai mari de experiențe cu un număr cît mai mic de concepte de bază reprezintă țelul fundamental al cunoașterii teoretice, este radical opusă orientării fizicii fenomenologice. Din acest punct de vedere, concepțiile lui Einstein asupra direcției de dezvoltare a cunoașterii fizice au fost, încă de la începuturile activității sale științifice, net deosebite de cele ale lui Mach. Într-adevăr, deja primele sale cercetări s-au integrat acelei orientări antifenomenologice care este bine caracterizată în aliniatele ce urmează.

14. Acesta este programul unificării cunoașterii fizice pe baza ideii de cîmp, un program a cărui înfăptuire a constituit ținta supremă a activității științifice a lui Einstein.

15. Einstein nu se interesează atît de interpretarea filozofică a unei științe gata făcute, cît de acele vederi filozofice care influențează într-un fel sau altul orientarea cercetării naturii. Din acest

punct de vedere discută el și ceea ce califică drept „eroarea inductivistă". Constituirea unor teorii „speculative", cum sînt teoria moleculară sau teoria cîmpului a lui Maxwell, nu a fost favorizată de prejudecățile inductiviste dominante în rîndul cercetătorilor naturii. Pentru alte considerații asupra acestui subiect, vezi îndeosebi *Despre metoda fizicii teoretice*.

16. Teoria relativității este descrisă aici ca o *teorie de principii*. Pentru caracterizarea teoriilor de principii, în opoziție cu teoriile constructive, vezi *Ce este teoria relativității?* și *Note autobiografice*.

17. Einstein nu pune la îndoială cîtuși de puțin valoarea științifică a mecanicii cuantice, ca teorie fizică. El apreciază însă că mecanica cuantică reprezintă o descriere incompletă a realității fizice și că nu poate din acest motiv să ofere o bază pentru unificarea cunoașterii fizice. Pentru argumentarea acestei teze a lui Einstein, vezi îndeosebi *Mecanica cuantică și realitatea*, *Note autobiografice* și *Observații asupra articolelor reunite în acest volum*.

18. În opoziție cu interpretarea școlii de la Copenhaga, Einstein nu atribuie caracterul statistic al legilor teoriei cuantice în primul rînd interacțiunii incontrolabile dintre microobiecte și instalațiile experimentale, ci împrejurării că funcția de undă a lui Schrödinger nu descrie un sistem individual, ci o totalitate de sisteme. Tocmai în acest sens este mecanica cuantică o descriere incompletă a realității fizice.

19. Einstein subliniază că ceea ce îl opune interpretării larg acceptate a mecanicii cuantice este concepția sa generală asupra condițiilor descrierii teoretice a realității fizice. În disputa dintre asemenea concepții nu se poate decide prin apel la faptele experienței și cu atît mai puțin prin demonstrație. Numai dezvoltarea viitoare a cunoașterii fizice va putea arăta, pînă la urmă, cine are dreptate.

20. Pentru indicarea prin analogii a locului pe care îl va ocupa teoria statistică a cuantelor în cadrul unei teorii fizice mai cuprinzătoare, care ar permite descrierea completă a sistemelor cuantice individuale, vezi și *Mecanica cuantică și realitatea* și *Observații asupra articolelor reunite în acest volum*.

21. Ultima parte a articolului este consacrată argumentării posibilității derivării fenomenelor cuantice din ecuațiile unei teorii generale a cîmpului, un program de cercetare căruia Einstein i-a consacrat toate forțele sale în a doua perioadă a activității sale științifice.

22. Progresul descrierii teoretice se realizează în concepția lui Einstein prin creșterea continuă a distanței dintre principii și consecințele ce pot fi confruntate cu datele de observație. Pe măsură ce înaintăm spre o descriere teoretică cu o bază logică mai simplă se adîncește „prăpastia logică" dintre principii și datele experienței. Pentru expunerea reprezentării lui Einstein asupra sensului dezvoltării istorice a fizicii teoretice, vezi *Despre metoda fizicii teoretice*.

23. Înțelegerea tendinței istorice de dezvoltare a cunoașterii fizice are, după părerea autorului, o însemnătate esențială pentru clarificarea stării actuale a teoriei și indicarea căilor dezvoltării ei viitoare. Considerațiile principiale formulate de Einstein în acest text, ca și în alte scrieri consacrate acestei teme, sînt așadar subordonate fundamentării unei anumite orientări strategice a cercetării.

FUNDAMENTELE FIZICII TEORETICE

Știința este încercarea de a face ca diversitatea haotică a experienței noastre senzoriale să corespundă unui sistem de gîndire uniform din punct de vedere logic. În cadrul acestui sistem experiențele singulare trebuie corelate cu structura teoretică în așa fel încît coordonarea realizată să fie unică și convingătoare.

Trăirile senzoriale constituie ceea ce ne este dat. În schimb, teoria menită să le interpreteze este făcută de om.[1] Ea este rezultatul unui proces de adaptare extrem de laborios, ipotetic, niciodată deplin încheiat, totdeauna supus întrebărilor și îndoielii.

Modul științific de formare a conceptelor diferă de cel folosit în viața noastră de toate zilele, dar nu în mod fundamental, ci doar prin definirea mai precisă a conceptelor și prin determinarea mai precisă a consecințelor, prin alegerea mai meticuloasă și mai sistematică a materialului experimental și printr-o mai mare economie logică.[2] Prin aceasta din urmă înțelegem efortul de reducere a tuturor conceptelor și corelațiilor la un număr cît mai mic cu putință de concepte de bază și axiome independente din punct de vedere logic.

Ceea ce numim fizică cuprinde acel grup de științe ale naturii care își întemeiază conceptele pe măsurători și ale căror concepte și propoziții se pretează la formulare matematică. Domeniul ei se definește deci ca fiind acea parte din totalul cunoștințelor noastre care poate fi exprimată în termeni matematici. O dată cu progresul științei, domeniul fizicii s-a lărgit într-atît încît pare a fi limitat doar de limitările metodei înseși.[3]

Cea mai mare parte a cercetării fizice este consacrată dezvoltării diferitelor ramuri ale fizicii, avînd fiecare ca obiect înțelegerea teoretică a unor cîmpuri mai mult sau mai puțin restrînse ale experienței, legile și conceptele fiecăreia rămînînd cît mai strîns posibil legate de experiență. Acest sector al științei, cu specializarea lui crescîndă, este cel ce a revoluționat viața practică în secolele din urmă și a generat posibilitatea ca omul să se elibereze în cele din urmă de povara trudei fizice.

Pe de altă parte, încă de la bun început s-a încercat tot timpul să se găsească pentru toate aceste științe particulare o bază teoretică unificatoare, constînd dintr-un minim de concepte și relații fundamentale, din care să poată fi derivate logic toate conceptele și relațiile disciplinelor particulare. Iată ce înțelegem prin căutarea unui fundament pentru întreaga fizică. Credința profundă că acest scop ultim poate fi atins constituie principala sursă a devotamentului pasionat ce l-a însuflețit dintotdeauna pe cercetător.[4] Observațiile care urmează sînt consacrate, în acest sens, fundamentelor fizicii.

Din cele spuse reiese clar că termenul *fundamente*, folosit în acest context, nu înseamnă ceva analog în toate privințele cu fundamentul unei clădiri. Desigur că, din punct de vedere logic, diferitele legi ale fizicii se sprijină pe acest fundament. Dar, în timp ce o clădire poate fi grav avariată de o furtună puternică sau de o viitură, fundamentul ei rămînînd totuși intact, în știință totdeauna noile experiențe sau noile cunoștințe primejduiesc fundamentul logic în mai mare măsură decît în disciplinele particulare, care sînt în contact mai strîns cu datele experimentale. În legătura pe care fundamentul o are cu toate părțile individuale rezidă marea lui însemnătate, dar și pericolul mai mare la care este expus în fața oricărui nou fapt. O dată ce am înțeles acest lucru, mi se pare de mirare că așa-numitele epoci revoluționare ale științei fizicii n-au dus la schimbări mai frecvente și mai substanțiale în fundamentul ei decît s-a întîmplat în realitate.

Prima încercare de a dura un fundament teoretic uniform a constituit-o opera lui Newton. În sistemul său totul se reduce la următoarele concepte: (1) puncte materiale cu masă invariabilă; (2) acțiune la distanță între orice pereche de puncte materiale; (3) lege de mișcare pentru punctele materiale. Strict vorbind, aici nu exista nici un fundament atotcuprinzător, fiindcă o lege explicită a fost formulată numai pentru acțiunile la distanță ale gravitației, în timp ce pentru alte acțiuni la distanță nu era stabilit nimic *a priori* în afară de legea egalității dintre *actio* și *reactio*. În plus, Newton însuși a înțeles cît se poate de bine că timpul și spațiul, ca factori efectivi din punct de vedere fizic, interveneau în mod esențial în sistemul său, chiar dacă numai implicit.

Această bază newtoniană s-a dovedit deosebit de fecundă, și, pînă la finele secolului al nouăsprezecelea, a fost considerată definitivă. Ea nu numai că a dat rezultate legate de mișcările corpurilor cerești pînă la cele mai mici detalii, dar a oferit și o teorie a mecanicii maselor discrete și continue, o explicație simplă a principiului conservării energiei și o teorie completă și strălucită a căldurii. Explicarea fenomenelor electrodinamice în cadrul sistemului newtonian era mai forțată; iar cel mai puțin convingătoare din toate a fost din capul locului teoria luminii.[5]

Nimic surprinzător în faptul că Newton nici nu voia să audă de o teorie ondulatorie a luminii; fiindcă o asemenea teorie era în cea mai mare discordanță cu fundamentul teoretic construit de el. Ipoteza că spațiul este umplut cu un mediu constînd din puncte materiale ce propagă unde luminoase fără a manifesta nici un fel de alte proprietăți mecanice trebuie să i se fi părut absolut artificială. Cele mai puternice argumente empirice în sprijinul naturii ondulatorii a luminii — vitezele determinate de propagare, interferența, difracția, polarizarea — nu erau cunoscute ori nu erau cunoscute în mod sistematic. Newton avea dreptate să rămînă fidel teoriei sale corpusculare a luminii.

În secolul al XIX-lea disputa a fost decisă în favoarea teoriei ondulatorii. Cu toate acestea, în legătură cu fundamentul mecanic al fizicii n-au apărut îndoieli serioase, în primul rînd pentru că nimeni nu știa unde s-ar putea găsi un astfel de fundament. Doar încetul cu încetul, sub presiunea irezistibilă a faptelor, s-a dezvoltat un nou fundament al fizicii, fizica cîmpului.

Începînd încă din vremea lui Newton, teoria acțiunii-la-distanță a fost în mod constant considerată drept artificială. N-au lipsit eforturile de a explica gravitația printr-o teorie cinetică, adică pe baza forțelor de coliziune ale unor ipotetice particule materiale. Încercările au fost însă superficiale și nu au dat roade. Rolul straniu jucat de spațiu (respectiv sistemul inerțial) în fundamentele mecanicii a fost de asemenea recunoscut în mod evident și criticat cu deosebită claritate de către Ernst Mach.

Marea schimbare a fost determinată de Faraday, Maxwell și Hertz — într-un mod aproape inconștient și fără voia lor. Toți trei s-au considerat, toată viața, adepți ai teoriei mecanice. Hertz a găsit forma cea mai simplă a ecuațiilor cîmpului electromagnetic și a declarat că orice teorie care duce la aceste ecuații este o teorie maxwelliană. Totuși, spre sfîrșitul scurtei sale vieți, el a scris o lucrare în care a prezentat drept fundament al fizicii o teorie mecanică din care era eliminat conceptul de forță.

Nouă, celor care am primit ideile lui Faraday, ca să spunem o dată cu laptele matern, ne este greu să ne dăm seama de importanța și cutezanța lor. Faraday trebuie să fi sesizat cu un instinct infailibil caracterul artificial al tuturor încercărilor de a raporta fenomenele electromagnetice la acțiunile-la-distanță dintre particule electrice ce acționează unele asupra celorlalte. Cum se poate ca fiecare firicel de fier din pilitura presărată pe o bucată de hîrtie să știe despre particulele electrice individuale ce trec printr-un conductor din apropiere? Toate aceste particule electrice laolaltă păreau să creeze în spațiul înconjurător o stare care la rîndul ei producea o anumită

ordine în pilitură. Faraday era convins că aceste stări spațiale, numite astăzi cîmpuri, o dată ce structura lor geometrică și interacțiunea lor erau corect determinate, aveau să ofere cheia misterioaselor interacțiuni electromagnetice. El concepea aceste cîmpuri ca pe niște stări de tensiune mecanică într-un mediu ce umple spațiul, asemeni stărilor de tensiune într-un corp întins elastic. Pe atunci acesta era singurul mod în care puteau fi concepute stări distribuite aparent continuu în spațiu. Tipul particular de interpretare mecanică a acestor cîmpuri rămînea, pentru a spune așa, în fundal — ca un fel de liniștire a conștiinței științifice ținînd seamă de tradiția mecanică din epoca lui Faraday.

Cu ajutorul acestui nou concept de cîmp, Faraday a izbutit să formuleze un concept calitativ despre întregul complex de efecte electromagnetice descoperite de el și de predecesorii săi. Formularea precisă a legilor spațiotemporale ale acestor cîmpuri a fost opera lui Maxwell. Să ne închipuim ce a putut să simtă atunci cînd ecuațiile sale diferențiale i-au arătat că aceste cîmpuri electromagnetice se propagau sub formă de unde polarizate și cu viteza luminii! Nu mulți sînt muritorii cărora le-a fost hărăzită o asemenea experiență. În acel moment emoționant, Maxwell n-ar fi putut în mod cert să-și închipuie că lumina, a cărei natură părea lămurită complet, avea să preocupe în continuare generație după generație. În tot acest timp, fizicienii au avut nevoie de cîteva decenii pentru a sesiza întreaga semnificație a descoperirii lui Maxwell, atît de îndrăzneț a fost saltul impus de geniul său concepțiilor colegilor săi de breaslă. Abia după ce Hertz a demonstrat experimental existența undelor electromagnetice maxwelliene, a încetat orice rezistență față de noua teorie.

Dacă însă cîmpul electromagnetic putea să existe ca undă independent de sursa materială, interacțiunea electrostatică nu mai putea fi interpretată ca acțiune-la-distanță. Iar ceea ce era valabil pentru acțiunea electrică nu putea fi negat în gravitație. Pretutindeni acțiunile-la-

distanță newtoniene făceau loc cîmpurilor ce se propagă cu viteză finită.

Din fundamentul newtonian nu mai rămîneau acum decît punctele de masă materiale supuse legii de mișcare. J. J. Thompson a arătat însă că un corp încărcat electric aflat în mișcare trebuie, potrivit teoriei lui Maxwell, să posede un cîmp magnetic a cărui energie se comportă întocmai ca un adaos la energia sa cinetică. Iar dacă o parte a energiei cinetice constă din energia cîmpului, n-ar putea fi valabil lucrul acesta pentru întreaga energie cinetică? Nu cumva inerția substanței materiale, proprietate de bază a acesteia, ar putea fi explicată în cadrul teoriei cîmpului? Această întrebare a dus la problema interpretării substanței materiale în termeni de teorie a cîmpului, problemă a cărei rezolvare ar fi oferit și o explicație a structurii atomice a materiei. Fizicienii și-au dat curînd seama că teoria lui Maxwell nu putea îndeplini un asemenea program. De atunci mulți oameni de știință au depus mari strădanii pentru a completa teoria cîmpului printr-o generalizare menită să cuprindă o teorie a substanței materiale; deocamdată însă eforturile în acest sens nu au fost încununate de succes. Pentru a construi o teorie, nu e de-ajuns să ai o concepție clară asupra scopului. Trebuie să mai ai și un punct de vedere formal care să restrîngă suficient de mult varietatea nelimitată a posibilităților. Pînă în prezent acesta nu a fost găsit, astfel încît teoria cîmpului nu a izbutit să ofere un fundament pentru întreaga fizică.

Timp de cîteva decenii, majoritatea fizicienilor au fost convinși că se va găsi o substructură mecanică pentru teoria lui Maxwell. Rezultatele nesatisfăcătoare ale eforturilor lor au dus însă la acceptarea treptată a noilor concepte de cîmp ca fundamente ireductibile — cu alte cuvinte, fizicienii s-au resemnat să abandoneze ideea unei fundamentări mecanice.

Astfel, fizicienii au aderat la programul teoriei cîmpului. Acesta nu putea însă fi numit un fundament,

fiindcă nimeni nu putea să spună dacă o teorie a cîmpului consistentă va putea să explice vreodată pe de o parte gravitația, iar pe de altă parte componentele elementare ale materiei. În această situație era necesar ca particulele materiale să fie gîndite ca puncte materiale supuse legilor de mișcare newtoniene. Acesta a fost procedeul prin care Lorentz a creat teoria despre electron și teoria fenomenelor electromagnetice ale corpurilor în mișcare.

Iată punctul în care ajunseseră concepțiile fundamentale în pragul secolului nostru. Fusese înregistrat un progres imens în pătrunderea și înțelegerea teoretică a unor grupuri întregi de fenomene noi; dar stabilirea unui fundament unificat pentru fizică părea un obiectiv îndepărtat. Evoluția ulterioară a agravat și mai mult această stare de lucruri. Dezvoltarea înregistrată în acest secol se caracterizează prin elaborarea a două sisteme de gîndire independente în esență unul de altul, teoria relativității și mecanica cuantică. Cele două sisteme nu se contrazic în mod direct între ele; ele par însă puțin adaptate pentru a fuziona într-o teorie unificată. Acum va trebui să discutăm pe scurt ideea de bază a acestor două sisteme.

Teoria relativității a luat naștere din eforturile de a îmbunătăți, sub aspectul economiei logice, fundamentele fizicii așa cum se prezentau la începutul secolului. Așa-numita teorie specială au restrînsă a relativității se bazează pe faptul că ecuațiile lui Maxwell (și deci legea de propagare a luminii în vid) se convertesc în ecuații de aceeași formă atunci cînd suferă transformări Lorentz. Acestei proprietăți formale a ecuațiilor lui Maxwell i se adaugă cunoașterea noastră empirică destul de sigură, potrivit căreia legile fizicii sînt aceleași în raport cu toate sistemele inerțiale. Toate acestea au drept rezultat faptul că transformările Lorentz — aplicate coordonatelor spațiale și temporale — trebuie să guverneze tranziția de la un sistem inerțial la oricare altul. Conținutul teoriei restrînse a relativității poate fi rezumat deci printr-o propoziție: toate legile naturii trebuie să fie astfel formulate

încît să fie covariante în raport cu transformările Lorentz. De aici urmează că simultaneitatea a două evenimente distincte nu este un concept invariant și că dimensiunile corpurilor rigide și vitezele ceasornicelor depind de starea lor de mișcare. O altă consecință a fost modificarea legii de mișcare newtoniene în cazurile în care viteza corpului dat nu este mică în comparație cu viteza luminii. Decurgea de asemenea principiul echivalenței masei și energiei, legile de conservare a masei și energiei devenind una și aceeași lege. O dată ce s-a arătat că simultaneitatea este relativă și depinde de sistemul de referință, a dispărut orice posibilitate de a menține acțiunile la distanță în fundamentul fizicii, dat fiind că acest concept presupunea caracterul absolut al simultaneității (trebuie să fie posibil să se precizeze localizarea a două puncte materiale în interacțiune „în același moment").

Teoria generală a relativității își are originea în încercarea de a explica un fapt ce era cunoscut de pe vremea lui Galilei și Newton, dar care s-a sustras oricărei interpretări teoretice: inerția și greutatea unui corp, care sînt în ele însele două lucruri total distincte, se măsoară cu una și aceeași constantă — masa. Din această corespondență decurge că, pe cale experimentală, este imposibil să se descopere dacă un sistem de coordonate dat este accelerat sau dacă mișcarea sa este rectilinie și uniformă, faptele observate datorîndu-se unui cîmp gravitațional (acesta este principiul echivalenței din teoria generală a relativității). Prin acest fapt, conceptul de sistem inerțial este zdruncinat de îndată ce intervine gravitația. Aici putem face observația că sistemul inerțial constituie un punct slab al mecanicii galileo-newtoniene. Căci se presupune astfel o proprietate misterioasă a spațiului fizic, ce condiționează tipul de sisteme de coordonate pentru care rămîn valabile legea inerției și legea de mișcare newtoniană.

Aceste dificultăți pot fi evitate prin următorul postulat: legile naturii trebuie formulate în așa fel încît

forma lor să fie identică pentru sisteme de coordonate în orice fel de stare de mișcare. Realizarea acestui obiectiv este sarcina teoriei generale a relativității. Pe de altă parte, din teoria restrînsă deducem existența unei metrici riemanniene în cadrul continuului spațio-temporal, care, conform principiului echivalenței, descrie atît cîmpul gravitațional, cît și proprietățile metrice ale spațiului. Admițînd că ecuațiile cîmpului pentru gravitație sînt diferențiale de ordinul al doilea, legea cîmpului este clar determinată.

Dincolo de acest rezultat, teoria eliberează fizica cîmpului de un neajuns de care suferea deopotrivă cu mecanica newtoniană — neajunsul de atribui spațiului acele proprietăți fizice independente care fuseseră pînă atunci disimulate prin folosirea unui sistem inerțial. Nu se poate pretinde însă că acele părți ale teoriei generale a relativității care pot fi considerate astăzi ca definitive, au oferit fizicii un fundament complet și satisfăcător. În primul rînd, în ea cîmpul total apare ca fiind compus din două părți neconectate logic — cîmpul gravitațional și cîmpul electromagnetic. Iar în al doilea rînd, această teorie, la fel ca și teoriile anterioare ale cîmpului, n-a furnizat deocamdată o explicație a structurii atomice a materiei. Acest insucces are probabil o legătură cu faptul că pînă acum teoria nu a contribuit cu nimic la înțelegerea fenomenelor cuantice. Pentru a înțelege aceste fenomene, fizicienii au fost nevoiți să adopte metode cu totul noi, ale căror caracteristici de bază le vom discuta acum.

În anul 1900, în cursul unei investigații pur teoretice, Max Planck a făcut o descoperire cu adevărat remarcabilă; legea radiației corpurilor în funcție de temperatură nu putea fi derivată exclusiv din legile electrodinamicii maxwelliene. Pentru a ajunge la rezultate consistente pe baza unor experimente relevante, radiația de o frecvență dată trebuia tratată ca și cum ar consta din atomi de energie cu energia individuală $h\nu$, unde h este constanta universală a lui Planck. În anii care au urmat s-a arătat că pretutindeni lumina este produsă și absorbită în astfel

de cuante de energie. Mai cu seamă, Niels Bohr a putut să înțeleagă în linii mari structura atomului, pornind de la ipoteza că atomii pot avea numai valori energetice discrete și că tranzițiile discontinue dintre ele sînt legate de emisia sau absorbția unei asemenea cuante de energie. Aceasta arunca o anumită lumină asupra faptului că în stările lor gazoase elementele și compușii lor radiază și absorb numai lumină cu frecvențe precis determinate. Toate acestea nu-și găseau nici o explicație în cadrul teoriilor existente atunci. Era clar că, cel puțin în domeniul fenomenelor atomice, caracterul a tot ce se întîmplă este determinat de stări discrete și de tranzițiile aparent discontinue dintre ele, constanta lui Planck, *h*, jucînd pretutindeni un rol decisiv.

Pasul următor l-a făcut de Broglie. El și-a pus întrebarea cum ar putea fi înțelese stările discrete cu ajutorul conceptelor curente și i-a venit ideea unei paralele cu undele staționare, ca de exemplu în cazul frecvențelor proprii ale tuburilor de orgă și ale coardelor în acustică. Ce-i drept, acțiuni ondulatorii de felul celor cerute aici nu erau cunoscute; dar puteau fi construite, și legile lor matematice puteau fi formulate, folosind constanta lui Planck, *h*. De Broglie a conceput un electron ce se rotește în jurul nucleului atomic ca fiind legat de un asemenea cîmp de unde ipotetic și a făcut inteligibil pînă la un punct caracterul discret al orbitelor „permise" ale lui Bohr prin caracterul staționar al undelor corespunzătoare.

În mecanică, mișcarea punctelor materiale este determinată de forțe sau cîmpuri de forță ce acționează asupra lor. Era deci de așteptat ca aceste cîmpuri de forță să influențeze într-un mod analog și cîmpurile de unde ale lui de Broglie. Erwin Schrödinger a arătat cum trebuia luată în considerare această influență, reinterpretînd printr-o metodă ingenioasă anumite formulări ale mecanicii clasice. El a reușit chiar să lărgească într-atît teoria mecanicii ondulatorii astfel încît, fără introducerea vreunei ipoteze adiționale, ea a devenit aplicabilă oricărui sistem mecanic constînd dintr-un număr arbi-

trar de puncte materiale, adică avînd un număr arbitrar de grade de libertate. Lucrul acesta a fost posibil, dat fiind că un sistem mecanic constînd din n puncte materiale este într-o măsură considerabilă echivalent din punct de vedere matematic cu un singur punct material ce se mișcă într-un spațiu cu $3n$ dimensiuni.

Pe baza acestei teorii s-a obținut o reprezentare surprinzător de bună a unei imense varietăți de fapte care altminteri apăreau cu totul de neînțeles. În mod curios totuși, într-un punct se înregistra un eșec: s-a dovedit imposibil să se coreleze cu aceste unde Schrödinger mișcări definite ale punctelor materiale — or, tocmai acesta fusese scopul inițial al întregii construcții.

Dificultatea părea insurmontabilă, pînă cînd a fost depășită de Bohr într-un mod pe cît de simplu pe atît de neașteptat. Cîmpurile de unde de Broglie–Schrödinger urmau a fi interpretate nu ca o descriere matematică a felului în care un eveniment se produce efectiv în timp și spațiu — cu toate că, firește, ele se referă la un asemenea eveniment —, ci mai degrabă ca descriere matematică a ceea ce putem cunoaște efectiv despre sistem. Ele servesc doar pentru formularea de enunțuri și predicții statistice ale rezultatelor tuturor măsurătorilor pe care le putem efectua asupra sistemului.

Aș vrea să ilustrez aceste trăsături generale ale mecanicii cuantice printr-un exemplu simplu: să considerăm un punct material ținut înăuntrul unei regiuni restrînse G prin forțe de mărime finită. Dacă energia cinetică a punctului material se situează sub o anumită limită, atunci, conform mecanicii clasice, el nu poate părăsi niciodată regiunea G. În schimb, conform mecanicii cuantice, punctul material, după o perioadă ce nu este imediat predictibilă, poate părăsi regiunea G, într-o direcție imposibil de prevăzut, evadînd în spațiul înconjurător. După Gamow, cazul acesta este un model simplificat al dezintegrării radioactive.

Mecanica cuantică tratează acest caz în felul următor: în momentul t_0 avem un sistem de unde Schrödinger

aflat în întregime înăuntrul lui G. După momentul t_0 însă, undele părăsesc interiorul lui G îndreptîndu-se în toate direcțiile, în așa fel încît amplitudinea undei care iese este mică în comparație cu amplitudinea inițială a sistemului de unde din interiorul lui G. Cu cît aceste unde se propagă mai departe, cu atît scade amplitudinea undelor înăuntrul lui G și în mod corespunzător scade intensitatea undelor ulterioare care ies din G. Numai după trecerea unui timp infinit rezerva de unde din G va fi epuizată, iar unda exterioară se va fi propagat într-un spațiu din ce în ce mai mare.

Dar ce are a face acest proces ondulatoriu cu primul obiect al interesului nostru, particula cuprinsă inițial în G? Pentru a răspunde la această întrebare trebuie să ne imaginăm un aranjament care să ne permită efectuarea de măsurători asupra particulei. De pildă, să ne imaginăm undeva în spațiul înconjurător un ecran în așa fel făcut încît particula să rămînă fixată de el atunci cînd vine în contact cu el. Atunci, din intensitatea undelor care lovesc ecranul într-un anumit punct, tragem concluzii cu privire la probabilitatea ca particula să lovească ecranul în cutare loc și moment. De îndată ce particula a lovit un punct determinat al ecranului, întreg cîmpul de unde își pierde cu totul semnificația fizică; singura lui menire a fost să permită predicții probabilistice cu privire la locul și timpul în care particula va lovi ecranul (sau, de exemplu, impulsul ei în momentul cînd lovește ecranul).

Toate celelalte cazuri sînt analoge. Scopul teoriei este să determine probabilitatea rezultatelor măsurătorii efectuate asupra sistemului la un moment dat. Pe de altă parte, ea nu încearcă să dea o reprezentare matematică a ceea ce există sau a ceea ce se petrece efectiv în spațiu și timp. În această privință actuala teorie cuantică diferă fundamental de toate teoriile anterioare ale fizicii, atît cele mecanice, cît și cele ale cîmpului. În locul unei descrieri prin modele a evenimentelor spațio-temporale efective, ea dă desfășurarea în timp a distribuțiilor probabiliste pentru măsurători posibile.

Trebuie admis că noua concepție teoretică își datorează originea nu vreunui joc al fanteziei, ci forței constrîngătoare a faptelor de experiență. Pînă în prezent toate încercările de a reprezenta direct trăsăturile corpusculare și ondulatorii manifestate în fenomenele luminii și ale substanței materiale printr-un model spațio-temporal au eșuat. După cum a arătat în mod convingător Heisenberg, din punct de vedere empiric orice decizie privind o structură riguros determinată a naturii este categoric exclusă, din cauza structurii atomice a aparatului nostru experimental. De aceea, probabil, nici vorbă nu poate fi ca vreo cunoștință dobîndită în viitor să oblige din nou fizica să abandoneze actualul fundament teoretic statistic în favoarea unuia determinist legat direct de realitatea fizică. Considerînd lucrurile din punct de vedere logic, problema pare a oferi două posibilități între care putem în principiu să alegem. În ultimă instanță, alegerea va fi făcută în funcție de tipul de descriere care facilitează, logic vorbind, formularea celui mai simplu fundament. În prezent nu dispunem de nici o teorie determinată care ar descrie direct evenimentele înseși și ar fi în concordanță cu faptele.

Deocamdată trebuie să recunoaștem că, în cazul fizicii, nu posedăm nici o bază teoretică generală care să poată fi privită drept fundamentul ei logic. Teoria cîmpului a eșuat pînă acum în sfera moleculară. Pe de altă parte, și teoria cuantică stă în fața unor greutăți ce par să aibă rădăcini adînci. Toată lumea este de acord că doar o asemenea formulare a teoriei cuantice ar putea să fie pusă ca fundament, care ar constitui o traducere a teoriei cîmpului în schema statisticii cuantice. Nimeni nu poate să prevadă dacă lucrul acesta va putea fi realizat într-un mod satisfăcător.

Unii fizicieni, între care mă număr și eu, nu pot să creadă că trebuie să abandonăm, efectiv și pentru totdeauna, ideea reprezentării directe a realității fizice în spațiu și timp; sau că trebuie să acceptăm punctul de vedere după care evenimentele din natură sînt analoge

unui joc de noroc. Orice om e liber să aleagă în ce sens să-și orienteze străduințele; de asemenea, orice om se poate mîngîia cu vorba lui Lessing că mai de preț este căutarea adevărului decît stăpînirea lui.[6]

NOTE

1. Einstein pare să aibă în vedere că trăirile senzoriale reprezintă „obiectul ce ne este dat" în sensul că ele sînt determinate de natura stimulilor, de structura sistemului nostru nervos și de o anumită programare a sistemului nervos care este rezultatul învățării individuale. Experiențele senzoriale se constituie așadar prin procese mai mult sau mai puțin automate, incoștiente. Dimpotrivă, teoriile științifice sînt produsul activității conștiente a cercetătorilor. Se lasă să se înțeleagă că cercetători ale căror experiențe senzoriale nu diferă în mod esențial pot să le „interpreteze" foarte diferit, dacă le raportează la teorii incompatibile.

2. Einstein se delimitează aici, ca și în alte texte, de punctul de vedere curent, potrivit căruia noțiunile cunoașterii comune se constituie pornind de la informații despre obiecte, însușiri și relații particulare, prin abstractizare și generalizare, adică comparînd aceste informații, lăsînd la o parte ceea ce este specific, diferit, și reținînd ceea ce este comun. El subliniază cu insistență că toate noțiunile, atît noțiunile gîndirii comune, cît și cele ale științei, sînt creații ale gîndirii omenești, produse ale unei activități imaginative și constructive și nu rezultate ale unor demersuri logice. Acest punct de vedere reprezintă unul din elementele cele mai originale ale concepției lui Einstein despre cunoaștere, care o detașează atît de concepția inductivistă curentă, cît și de realismul simțului comun. Într-o scrisoare din 15 iunie 1950, Einstein observă că el subliniază distincția dintre „trăiri senzoriale" și „noțiuni" care i se pare banală, „pentru a arăta că alegerea liberă a elementelor constructive inteligibile postulate în mod liber și imposibil de dedus în mod empiric nu începe în știința propriu-zisă, ci aparține vieții intelectuale de toate zilele". (A. Einstein, M. Besso, *Op.cit*., p. 263). Într-o altă scrisoare din 20 martie 1952 către același Besso, Einstein încearcă să explice considerațiile sale sumare pe această temă din *Notele autobiografice*, propunînd un exemplu: noțiunea de număr, ca noțiune a gîndirii comune, nu este abstrasă din experiență, cum crede, de exemplu, J. S. Mill, ci reprezintă o creație a minții omenești care a fost selecționată și păstrată datorită capacității sale de a coordona experiențele noastre. Einstein conchide: „drumul ce duce de la particular la general este unul intuitiv, cel ce duce de la general la

particular este unul logic". (*Op.cit*., p. 274). Pentru considerații asemănătoare vezi și *Observații asupra teoriei cunoașterii la Bertrand Russell*, precum și nota (2) la acest text.

3. Este îndoielnic că o asemenea caracterizare a domeniului cunoașterii fizice ar mai putea fi acceptată în zilele noastre. Unele determinări ale fenomenelor biologice și sociale au putut fi măsurate. Au fost de asemenea elaborate teorii și modele matematice utile ale unor procese biologice și sociale. Asemenea rezultate nu aparțin totuși fizicii, ci științelor biologice sau sociale. Domeniul științei fizice nu poate fi delimitat exclusiv prin metodă, prin caracteristici generale ale demersurilor cercetării, cum afirmă aici Einstein.

4. Vorbind în general de *cercetător*, Einstein nu are, desigur, în vedere aici pe toți oamenii care și-au consacrat talentul și forțele studiului naturii. El se gîndește în primul rînd la acei cercetători a căror activitate crede că a ilustrat cel mai bine acest ideal de cunoaștere, cei pe care i-a admirat în mod deosebit, personalități creatoare ca Newton, Faraday, Maxwell sau Lorentz. Einstein se simțea străin de acei fizicieni reprezentativi din generația sa care nu vedeau în unificarea cercetării fizice țelul fundamental al activității lor teoretice. El s-a explicat de nenumărate ori în această privință, îndeosebi atunci cînd s-a referit, cum va face doar aluziv în partea finală a acestui text, la ceea ce îl desparte de susținătorii „interpretării ortodoxe" a mecanicii cuantice.

5. Pentru considerații asemănătoare, cu remarcabile deosebiri în nuanțe, vezi și *Notele autobiografice*, mai ales pasajul consacrat caracterizării generale a situației din fizică la sfîrșitul secolului al XIX-lea, cînd autorul și-a încheiat studiile și a făcut primii pași spre o activitate de cercetare independentă.

6. Einstein admite că faptele cunoscute atunci în fizica atomică sînt compatibile cu două interpretări care decurg din reprezentări diferite asupra obiectivelor cercetării teoretice. Potrivit primei interpretări, descrierea teoretică, în măsura în care nu urmărește decît prevederea și explicarea rezultatelor experimentelor, va fi una ireductibil statistică. A doua interpretare pornește, dimpotrivă, de la premisa că teoria fizică trebuie să ofere o descriere a realității în spațiu și timp și conduce la concluzia că legile mecanicii cuantice vor trebui deduse drept consecințe din ecuațiile unei teorii generale a cîmpului. În opoziție cu marea majoritate a fizicienilor contemporani, Einstein a susținut cu consecvență cea de-a doua interpretare apreciind că dezvoltarea viitoare a cunoașterii fizice va fi în măsură să determine dacă această opțiune s-a dovedit sau nu fertilă. Einstein lasă clar să se înțeleagă că orientarea strategică a cercetării fizice depinde în mod hotărîtor de idealul de cunoaștere pe care îl adoptă teoreticienii.